

**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**EVALUASI *ARCFLASH* TERHADAP KOORDINASI PROTEKSI DI  
PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA AKIBAT  
INTERKONEKSI DARI DUA *PLANT***

Elfrida Maharani  
NRP 2210100080

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Teguh Yuwono

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***ARCFLASH EVALUATION FOR PROTECTION COORDINATION  
AT PT CHANDRA ASRI AND PT TRI POLYTA DUE TO  
INTERCONNECTION OF BOTH PLANTS***

Elfrida Maharani  
NRP 2210100080

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Ir. Teguh Yuwono

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**EVALUASI *ARCFLASH* TERHADAP KOORDINASI  
PROTEKSI DI PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA  
AKIBAT INTERKONEKSI DARI DUA *PLANT***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiانتارا, M.T.**

**Ir. Teguh Yuwono**

**NIP. 196603181990101001**

**NIP. 195008061976121002**



**SURABAYA  
JANUARI, 2015**

# **EVALUASI *ARCFLASH* TERHADAP KOORDINASI PROTEKSI DI PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA AKIBAT INTERKONEKSI DARI DUA *PLANT***

Elfrida Maharani  
2210100080

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

## **ABSTRAK**

Interkoneksi *plant* PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta menyebabkan peningkatan arus hubung singkat, maka perlu dilakukan analisis ulang terhadap koordinasi proteksi rele arus lebih. Selain kontinuitas dan keandalan sistem tenaga listrik pada perusahaan, keamanan merupakan hal yang penting. Faktor keamanan suatu perusahaan dapat dilihat dari besarnya nilai insiden energi yang terjadi. Nilai insiden energi didapatkan dari hasil simulasi evaluasi *arcflash* pada kedua *plant*. Selain besarnya nilai insiden energi yang terjadi ketika gangguan, evaluasi *arcflash* juga dapat menentukan jarak perlindungan busur api. Menurut hasil analisis yang dilakukan pada tipikal koordinasi, terdapat *bus* yang memiliki nilai insiden energi terlampaui besar. Disarankan untuk menggunakan rele differensial karena waktu operasi rele differensial lebih cepat sehingga dapat mengurangi besarnya nilai insiden energi yang terjadi.

Kata kunci: koordinasi proteksi, rele arus lebih, insiden energi, busur api

# ***ARCFLASH EVALUATION ON COORDINATION OF PROTECTION AT PT CHANDRA ASRI AND PT TRI POLYTA DUE TO THE INTERCONNECTION OF BOTH PLANTS***

Elfrida Maharani  
2210100080

*1<sup>st</sup> Advisor* : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

*2<sup>nd</sup> Advisor* : Ir. Teguh Yuwono

## ***ABSTRACT***

*The interconnection of both plants, PT Chandra Asri and PT Tri Polyta, cause an increase in short-circuits current. It is necessary to re-analyze the coordination of the over current protection relay. In addition to the continuity and reliability of the electric power systems in the enterprise, security is important. The security's factor of a company can be seen from the value of the incident energy that occurred. The value of the incident energy can be obtained from the simulation of arcflash evaluation on both plants. In addition to the large value of the incident energy that occurred, arcflash evaluation can also determine the distance of flash protection boundary. According to the results of the analysis performed on a typical coordination, there are buses that have large value of incident energy. It is recommended to use differential relay due to its faster operating time in order to reduce the value of the incident energy that occurred.*

*Keywords: coordination of protection, over current relay, incident energy, arc flash*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, terucap syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia terutama berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

***Evaluasi Arcflash Terhadap Koordinasi Proteksi di PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta Akibat Interkoneksi dari Dua Plant***

Tujuan utama dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 di Bidang Studi Teknik Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Segenap keluarga, terutama Bapak dan Ibu tercinta yang selalu memberikan dukungan dan doa bagi putrinya.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Teguh Yuwono, selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan saran dan bimbingan bagi Tugas Akhir ini.
3. Mas Andikta dan Andre Raditya yang telah banyak membantu penulis dan teman-teman angkatan E50
4. Seluruh keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, dan kawan-kawan atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama proses perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
 <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan.....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	2
1.6 Manfaat .....	3
 <b>BAB 2 DASAR TEORI</b>	
2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Gangguan dan Analisis Hubung Singkat .....	6
2.3 Nilai Arus Hubung Singkat .....	7
2.4 Rele Arus Lebih .....	8
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	8
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....	8
2.5 Pengaturan Rele Arus Lebih .....	9
2.5.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	9
2.5.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Seketika .....	10
2.6 Koordinasi Rele Arus lebih phasa .....	11
2.7 Teori Busur Api .....	12
2.7.1 Besar Insiden Energi oleh Busur Api .....	12

2.7.2 Waktu Durasi Busur Api .....	15
2.7.3 Jarak Perlindungan Busur Api.....	16
2.7.4 Standar NFPA 70E dan 1584-2002 .....	17

### **BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT CHANDRA ASRI DAN PT TRIPOLYTA**

3.1 Sistem Kelistrikan PT.Chandra Asri .....	19
3.1.1 Distribusi Sistem Kelistrikan.....	21
3.1.2 Klasifikasi Beban .....	23
3.1.3 Beban Prioritas .....	29
3.2 Sistem Kelistrikan PT.Tri Polyta .....	31
3.2.1 Distribusi Sistem Kelistrikan.....	33
3.2.2 Klasifikasi Beban .....	34

### **BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1 Pemodelan dan Analisis Sistem Kelistrikan.....	39
4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	40
4.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan Phasa .....	42
4.3.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 1 .....	42
4.3.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 2.....	56
4.3.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 3.....	71
4.3.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 4.....	87
4.4 Analisis Busur Api.....	98
4.4.1 Simulasi Kondisi Eksisting.....	98
4.4.2 Simulasi Kondisi Resetting .....	99
4.4.3 Perhitungan Busur Api Setelah Resetting.....	99

### **BAB 5 PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	107
5.2 Saran.....	107

### **DAFTAR PUSTAKA.....109**

### **LAMPIRAN.....111**

### **BIODATA PENULIS**



## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1	Konstanta invers ..... 10
Tabel 2.2	Jarak eksponen..... 14
Tabel 2.3	Jarak kerja berdasarkan standar IEEE 1584-2002..... 14
Tabel 2.4	Waktu operasi <i>circuit breaker</i> ..... 15
Tabel 2.5	NFPA 70E kategori <i>arc flash</i> ..... 17
Tabel 3.1	Daftar transformator daya..... 22
Tabel 3.2	Daftar motor feeder main utility 1..... 24
Tabel 3.3	Data beban lump feeder main utility 1 ..... 25
Tabel 3.4	Data motor feeder main utility 2 ..... 26
Tabel 3.5	Data beban lump main utility 2..... 26
Tabel 3.6	Data motor feeder ethylene ..... 27
Tabel 3.7	Data lump feeder ethylene ..... 28
Tabel 3.8	Data motor feeder polyethylene..... 28
Tabel 3.9	Data lump feeder polyethylene ..... 29
Tabel 3.10	Data motor tank yard 1 ..... 30
Tabel 3.11	Data lump tank yard 1 ..... 30
Tabel 3.12	Data motor tank yard 2..... 30
Tabel 3.13	Data lump tank yard 2 ..... 30
Tabel 3.14	Data transformator PT Tri Polyta..... 34
Tabel 3.15	Daftar motor pada substation ISBL..... 35
Tabel 3.16	Daftar lump pada substation ISBL ..... 35
Tabel 3.17	Daftar motor pada substation OSBL ..... 35
Tabel 3.18	Daftar lump pada substation OSBL..... 36
Tabel 3.19	Data motor pada substation TRAIN 3 ..... 36
Tabel 3.20	Data lump pada substation TRAIN 3 ..... 36
Tabel 3.21	Data motor pada substation BTF..... 37
Tabel 3.22	Data lump pada substation BTF..... 37
Tabel 4.1	Isc min 30 cycle ..... 40
Tabel 4.2	Isc max 4 cycle ..... 41
Tabel 4.3	Isc max ½ cycle ..... 42
Tabel 4.4	Hasil simulasi busur api kondisi eksisting..... 98

Tabel 4.5	Hasil simulasi busur api kondisi resetting.....	99
Tabel 4.6	Perbandingan nilai insiden energi.....	105
Tabel 4.7	Peralatan PPE sesuai standar NFPA 70E .....	105

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1    Hubung singkat.....	6
Gambar 2.2    Rele arus lebih waktu seketika.....	8
Gambar 2.3    Rele arus lebih pengaman trafo .....	10
Gambar 2.4    Koordinasi setting arus dan waktu .....	11
Gambar 3.1    Single line diagram PT Chandra Asri.....	20
Gambar 3.2    Single line diagram PT Tri Polyta.....	32
Gambar 3.3    Single line diagram integrasi .....	38
Gambar 4.1    SLD tipikal 1A.....	42
Gambar 4.2    Kurva eksisting tipikal 1A.....	48
Gambar 4.3    Kurva resetting tipikal 1A .....	49
Gambar 4.4    Single line diagram tipikal 1B .....	50
Gambar 4.5    Kurva setting tipikal 1B .....	55
Gambar 4.6    SLD tipikal 2A.....	56
Gambar 4.7    Kurva karakteristik rele CDG .....	57
Gambar 4.8    Kurva karakteristik rele CDG .....	59
Gambar 4.9    Kurva karakteristik rele CDG .....	60
Gambar 4.10   Kurva eksisting tipikal 2A.....	63
Gambar 4.11   Kurva resetting tipikal 2A .....	64
Gambar 4.12   Single line diagram tipikal 2B .....	65
Gambar 4.13   Kurva setting tipikal 2B .....	70
Gambar 4.14   SLD tipikal 3A.....	71
Gambar 4.15   Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	72
Gambar 4.16   Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	74
Gambar 4.17   Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	76
Gambar 4.18   Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	77
Gambar 4.19   Kurva eksisting tipikal 3A.....	79
Gambar 4.20   Kurva resetting tipikal 3A .....	80
Gambar 4.21   SLD tipikal 3B.....	81
Gambar 4.22   Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	82
Gambar 4.23   Kurva eksisting tipikal 3B .....	85
Gambar 4.24   Kurva resetting tipikal 3B .....	86

Gambar 4.25	SLD tipikal 4A.....	87
Gambar 4.26	Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	89
Gambar 4.27	Kurva karakteristik rele Toshiba IC03 .....	91
Gambar 4.28	Kurva eksisting tipikal 4A.....	92
Gambar 4.29	Kurva resetting tipikal 4A .....	93
Gambar 4.30	SLD tipikal 4B.....	94
Gambar 4.31	Kurva eksisting tipikal 4B .....	96
Gambar 4.32	Kurva resetting tipikal 4B.....	97

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

PT. Chandra Asri dan PT. Tri Polyta adalah perusahaan yang bergerak dalam produksi bahan kimia berupa resin propylene. Pasokan energi listrik pada PT. Chandra Asri berasal dari dua pembangkit listrik yaitu Steam Turbin Generator (STG) dengan kapasitas daya sebesar 33 MW dan Gas Turbin Generator (GTG) dengan kapasitas daya sebesar 20 MW sedangkan, pasokan energi listrik dari PLN melalui GI Asahimas sebesar 150 kV digunakan sebagai cadangan. Pada PT. Tri Polyta pasokan energi listrik hanya disuplai oleh PLN melalui GI Asahimas sebesar 150 kV.

Pada tahun 2012, Plant PT Chandra Asri diinterkoneksi dengan PT Tri Polyta sehingga perlu dilakukan evaluasi koordinasi proteksi akibat pengaruh dari penggabungan kedua plant perusahaan. Selain kontinuitas dan keandalan sistem tenaga listrik pada perusahaan, keamanan merupakan hal yang penting. Dengan mempertimbangkan besarnya nilai insiden energi yang timbul, sehingga diperoleh setting rele yang handal dan menjamin keamanan pabrik.

### 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Apakah rele-rele pengamanan arus lebih yang terpasang pada PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta sudah terkoordinasi dengan baik dan mempertimbangkan *arcflash*
2. Bagaimana analisa bahaya *arcflash* pada koordinasi proteksi di PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta berdasarkan simulasi
3. Nilai insiden energi yang timbul saat adanya gangguan

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Memodelkan, mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta
2. Mengevaluasi kategori busur api (*arcflash*) pada PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta

3. Menentukan *setting* rele agar koordinasi rele pengamanan dapat terproteksi atau masih dalam batas aman serta dapat meminimalisir nilai insiden energi yang timbul

#### 1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Bertujuan untuk menambah wawasan penulis serta mencari referensi literatur mengenai sistem proteksi rele arus lebih dan *arcflash*.
2. Pengumpulan Data  
Pengumpulan data dilakukan dengan melihat data *single line diagram* dari PT Chandra Asri yang sudah diintegrasikan dengan PT Tri Polyta
3. Permodelan dan Simulasi *Arcflash* pada ETAP  
Data sistem kelistrikan yang diperoleh akan dimodelkan pada *software* ETAP 7.5. Setelah itu tentukan rele tipikal yang akan dianalisis pada ETAP menggunakan *Star Device* dilakukan simulasi hubung singkat yang bertujuan untuk mengetahui nilai arus gangguan dan juga dilakukan simulasi koordinasi proteksi untuk mengetahui koordinasi proteksinya. Setelah itu simulasi *arcflash* menggunakan ETAP untuk mengetahui nilai insiden energi yang timbul akibat interkoneksi kedua plant.
4. Analisis Data  
Analisa dilakukan untuk menentukan berapa besarnya energi dari *arcflash*, menentukan berapa kategori dari energi *arcflash* yang terjadi dan menentukan apakah perlu atau tidaknya dilakukan resetting koordinasi rele pengamanan
5. Kesimpulan  
Kesimpulan diperoleh melalui hasil perhitungan dan simulasi yang kemudian dibandingkan dengan teori yang telah dipelajari.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

BAB 1: Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan manfaat

BAB 2: Dasar Teori

Bab ini membahas mengenai teori penunjang pada Tugas Akhir ini, meliputi proteksi, rele arus lebih, dan busur api

**BAB 3: Sistem kelistrikan PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta**

Bab ini berisi penjelasan sistem kelistrikan pada PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta beserta rele proteksi yang digunakan pada kedua plant

**BAB 4: Hasil Simulasi dan Analisis**

Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang telah dilakukan serta analisis besar nilai insiden energi yang timbul pada kedua plant

**BAB 5: Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran

## **1.6 Manfaat**

Manfaat yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat menjadi referensi bagi PT. Chandra Asri dan PT Tri Polyta dalam hal setting proteksi dan standar peralatan pelindung bagi pekerja
2. Sebagai referensi dan menambah ilmu pengetahuan mengenai arcflash

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari, oleh karena itu diperlukan peralatan proteksi pada sistem tenaga listrik untuk meminimalisir bahaya gangguan pada sistem tenaga listrik khususnya gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat adalah kejadian pada sistem tenaga listrik yang mengakibatkan munculnya arus abnormal yang besarnya berkali-kali lipat dari arus kerja normal sistem. Gangguan pada sistem tenaga listrik berdasarkan sifatnya terbagi menjadi 2, yaitu: gangguan sementara dan gangguan permanen.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat berasal dari dalam sistem kelistrikan dan dari luar sistem contohnya akibat terkena gelombang sambaran petir. Arus hubung singkat tersebut dapat menimbulkan kerusakan peralatan, terputusnya suplai listrik ke beban, dan membahayakan keselamatan pekerja apabila tidak segera diamankan.

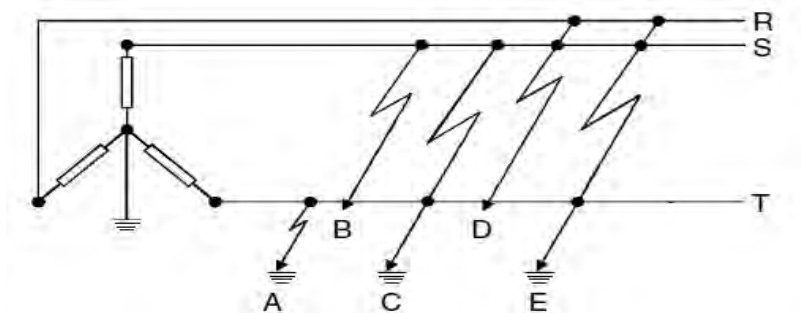
*Circuit breaker* dan rele merupakan alat proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik. Rele berfungsi untuk mendeteksi gangguan sistem tenaga listrik dan mengirimkan sinyal perintah ke *circuit breaker* untuk *trip*. *Circuit breaker* berfungsi sebagai pemutus agar gangguan tidak merusak peralatan dan bagian yang tidak terjadi gangguan tetap beroperasi secara normal.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh peralatan proteksi adalah:

- Selektivitas: mendeteksi dan hanya mengisolasi tempat terjadi gangguan
- Stabilitas: bagian yang tidak terganggu tetap beroperasi secara normal
- Sensitivitas: mendeteksi gangguan terkecil dan beroperasi sesuai settingnya agar gangguan tidak menimbulkan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki
- Kecepatan: beroperasi secara cepat dalam mendeteksi dan mengamankan gangguan agar meminimalisir kerusakan dan menjamin keselamatan pekerja [1]

## 2.2 Gangguan dan Analisis Hubung Singkat

Jenis-jenis gangguan hubung singkat dapat dilihat pada gambar dibawah ini



**Gambar 2.1:** Hubung singkat

Keterangan:

- A : Hubung singkat satu fasa ke tanah
- B : Hubung singkat antar fasa
- C : Hubung singkat 2 fasa ke tanah
- D : Hubung singkat 3 fasa
- E : Hubung singkat 3 fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah dan gangguan hubung singkat tiga fasa menimbulkan arus gangguan hubung singkat simetris (*symmetrical short circuit*), sedangkan gangguan yang lain menimbulkan arus gangguan tidak simetris (*unsymmetrical short circuits*). Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri[2].

Diperlukan analisis gangguan hubung singkat pada suatu sistem tenaga listrik untuk menentukan setting rele pengaman. Untuk proteksi rele fasa perlu diketahui analisis arus hubung singkat minimum yaitu arus hubung singkat antar fasa pada waktu 30 *cycle* sedangkan untuk rele gangguan ke tanah menggunakan arus gangguan satu fasa ke tanah. Untuk menentukan *interrupting capability* suatu peralatan pengaman dilakukan analisis arus hubung singkat maksimum.[2]

## 2.3 Nilai Arus Hubung Singkat

Ketika terjadi hubung singkat pada suatu bus, maka arus dari sumber yang sangat besar akan mengalir ke bus yang mengalami gangguan. Besar nilai arus hubung singkat tergantung pada reaktansi sumber penghasil arus hubung singkat dan reaktansi sistem hingga lokasi gangguan. [2]

Total nilai arus hubung singkat disuplai oleh sumber yang terbagi menjadi 3 kategori, yaitu:

- Kategori I: peralatan sistem transmisi, contohnya: generator dari *grid*
- Kategori II: generator pada sistem beban, contohnya: generator industri, genset sistem skala kecil
- Kategori III: motor sinkron dan induksi

Pada motor induksi ketika terjadi hubung singkat, arus simetri menghilang setelah 1-10 *cycle* jadi arus simetri pada motor induksi dapat diabaikan pada perhitungan arus hubung singkat 30 *cycle*. Tetapi pada motor sinkron, arus simetri perlu diperhitungkan karena arus simetri tidak menghilang akibat dari medan yang dihasilkannya.[3] Berikut ini perhitungan untuk nilai arus hubung singkat berdasarkan jenis gangguannya:

1. Hubung singkat 3 fasa

$$I_{sc3} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{sc}} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Hubung singkat antar fasa

$$I_{sc2} = \frac{V/\sqrt{3}}{2 \times Z_{sc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0,86 I_{sc3} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{sc0} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_0} \dots\dots\dots (2.3)$$

## 2.4 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan berdasarkan arus yang mengalir pada suatu sistem tenaga listrik dan mengirimkan sinyal untuk *trip* ke *circuit breaker* ketika terdeteksi gangguan arus lebih pada sistem. [1]

Rele arus lebih dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu: [4]

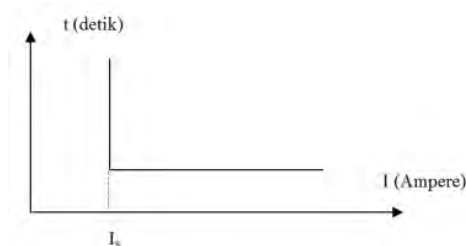
1. Rele arus lebih waktu invers (*inverse time overcurrent relay*)
2. Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time overcurrent relay*)
3. Rele arus lebih waktu seketika (*instanenous time overcurrent relay*).

### 2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Ketika arus gangguan besar, rele arus lebih waktu invers memberikan sinyal untuk trip ke CB sedangkan ketika arus gangguan yang terdeteksi kecil, waktu operasi rele akan lebih lama. Kurva time-current characteristic (TCC) menunjukkan karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers. Standar IEC 60255 dan *North American IDMT Standard Relay Characteristic* memberikan persamaan kurva pada persamaan grafik Inverse Definite Minimum Time (IDMT). [4]

### 2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Ketika nilai arus rele mencapai set point dan masih dalam batas keterlambatan waktu 80 ms maka rele arus lebih waktu instan akan bekerja tanpa delay atau secara seketika tanpa penundaan waktu. Grafik karakteristik rele arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada gambar berikut ini:



**Gambar 2.2** Rele arus lebih seketika

## 2.5 Pengaturan Rele Arus Lebih

### 2.5.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Pengaturan rele arus lebih waktu invers terbagi menjadi dua yaitu: setting *pick-up* dan setting *time-dial*. Setting *pick-up* berfungsi menentukan nilai arus minimum agar rele bekerja oleh karena itu, harus mempertimbangkan nilai arus nominal maksimum karena rele diharapkan tidak bekerja ketika arus nominal maksimum. Sehingga setting *pick-up* dibuat lebih besar daripada nilai arus nominal yang mengalir. Setting *pick-up* ditentukan oleh pemilihan *tap*. Berikut ini persamaan untuk pemilihan *tap*[5]:

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$I_{set}$  = arus pickup dengan nilai  $1,05 \times I_n - 1,3 I_n$

$nCT$  = perbandingan belitan primer dan belitan sekunder pada CT

*Setting time dial* berfungsi untuk menentukan waktu operasi rele, jika nilai *time dial* semakin kecil maka rele akan bekerja semakin cepat. Berikut ini persamaan untuk menentukan *setting time dial*[6]:

$$t = \frac{k \times \beta}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$t$  = waktu operasi (detik)

$k$  = time dial

$I$  = nilai arus (Ampere)

$I_{set}$  = arus *pickup* (Ampere)

$L$  = konstanta (lihat Tabel 2.1)

$\alpha$  = konstanta (lihat Tabel 2.1)

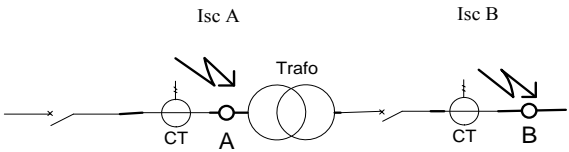
$\beta$  = konstanta (lihat Tabel 2.1)

**Tabel 2.1** Konstanta invers [6]

Tipe Kurva	Standard	$\alpha$	$\beta$	L
Moderately Inverse	IEEE	0,02	0,0515	0,114
Very Inverse	IEEE	2	19,61	0,491
Extremely Inverse	IEEE	2	28,2	0,1217
Very Inverse	IEC	0,02	0,14	0
Standard Inverse	IEC	1	13,5	0
Extremely Inverse	IEC	2	80	0

**2.5.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Seketika**

*Setting pickup* rele arus lebih seketika harus memperhatikan koordinasi pengaman berdasarkan daerah low voltage dan high voltage. Dua daerah ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.3** Rele arus lebih pengamanan trafo

Persamaan untuk *Setting pickup* rele seketika pada tipe koordinasi ini adalah:

$I_{sc \text{ max bus B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min, A}}$  ..... (2.6)

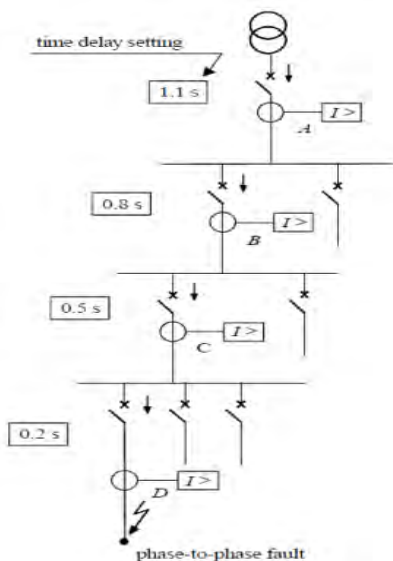
Keterangan:

$I_{sc \text{ max bus B}}$  = arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B

$I_{sc \text{ min A}}$  = arus hubung singkat minimum pada titik A [7].

## 2.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa

Koordinasi rele arus lebih fasa ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.4** Koordinasi setting arus dan waktu [7]

Pada gambar diatas dapat dilihat susunan rele yang berfungsi sebagai rele pengaman utama dan rele pengaman backup [8]. Kedua rele tersebut harus saling terkoordinasi. Koordinasi kedua rele dapat tercipta melalui setting *pickup* dan *time delay*. Setting *pick up* koordinasi rele arus lebih fasa harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\text{Iset A} > \text{Iset B} > \text{Iset C} > \text{Iset D} \dots\dots\dots (2.7)$$

Batas 125% dari nilai pick up rele di bawahnya digunakan pada aplikasi praktis [7]. Pada *setting* waktu, terdapat *setting* kelambatan waktu ( $\Delta t$ ) atau *grading time*. Rele utama dan rele *backup* mempunyai beda waktu kerja minimal sebesar 0,2 – 0,4 detik [8]. Berikut ini rincian waktu operasi rele:

Waktu terbuka *Circuit breaker* : 0,04 – 0,1 det (2-5 Cycle)

<i>overtravel</i> dari rele	: 0,1 det
Faktor Keamanan	: 0,12 – 0,22 det
Total waktu	: 0,2 -0,4 det

*Overtravel time* rele dapat diabaikan pada rele static dan rele digital berbasis *microprosesor*.

Hasil koordinasi harus memperhatikan hal-hal berikut ini:

- Peralatan pengaman tidak boleh bekerja bersamaan diluar setting yang ditentukan.
- Waktu tripping rele tidak boleh melebihi batas ketahanan peralatan listrik
- Mempertimbangkan fuse
- Pada saat inrush current dan starting motor tidak boleh bekerja

## **2.7 Teori Busur Api**

### **2.7.1 Besar Insiden Energi oleh Busur Api**

Busur api adalah peristiwa terbakarnya udara ketika elektron mengionisasi udara dan membakar gas-gas yang mudah terbakar pada udara. Busur api ini dapat disebabkan oleh hal-hal berikut ini [9]:

1. Debu, kelembapan, korosi, kondensasi, binatang.
2. *Spark discharge* dari *human error*
3. Pengembunan dari uap air.
4. *Over voltage* melalui celah sempit.
5. Kegagalan isolasi peralatan.
6. Kegagalan peralatan pengaman.
7. Kesalahan design peralatan.
8. Kesalahan standar operasional prosedur.

Selain itu, busur api dapat terjadi ketika gangguan hubung singkat karena gangguan hubung singkat dapat menyebabkan loncatnya elektron melalui udara. Ukuran dan standar penanggulangan bahaya busur api dapat dilihat dari besarnya insiden energi yang ditimbulkan. Nilai insiden energi terbesar biasanya disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat tiga fasa.

Pada tugas akhir ini, memperhatikan standar NFPA 70E untuk rekomendasi perlindungan pekerja dari bahaya busur api berdasarkan nilai insiden energi yang terjadi dan standar IEEE 1584 untuk jarak aman pekerja terhadap peralatan serta waktu durasi busur api (*arc time*) yang dapat diperkecil untuk meminimalisir besarnya insiden energi [10].



Insiden energi menurut IEEE 1584 didefinisikan sebagai jumlah energi yang besar di permukaan pada jarak tertentu dari pusat *Electric Arc* baik melalui radiasi maupun konveksi. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002, persamaan untuk perhitungan besarnya insiden energi berdasarkan level tegangan terbagi menjadi dua, yaitu [10]:

- ❖ Pada bus level tegangan kurang dari 15 kV

$$E = 4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

- E = *Incident Energy*(J/cm<sup>2</sup>)
- $E_n = 10^{K1+K2+1.081 \log(Ia) + 0.0011 G}$
- K1 = -0,792 untuk *open configuration* dan -0,555 untuk *box configuration (panel, switchgear)*
- K2 = 0 untuk sistem tidak diketanahkan atau dengan *high resistant grounding* dan -0,113 untuk sistem diketanahkan
- Ia = *Arus Arcing fault*
- G = *gap* antara bus bar dan konduktor (milimeter)
- $C_f = 1$  untuk tegangan diatas 1 kV dan 1,5 untuk tegangan kurang dari atau sama dengan 1 kV
- t = *Durasi arcing / Fault Clearing Time* (detik).
- D = Jarak kerja (meter)
- x = Jarak eksponen (lihat tabel 2.2)

- ❖ Pada bus level tegangan melebihi 15 kV digunakan persamaan metode Lee, sebagai berikut ini ;

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \times \left(\frac{t}{D^2}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

- V = level tegangan bus (kV)
- $I_B = \text{Arus Bolted (kA)}$
- t = *Durasi arcing / Fault Clearing Time* (detik).
- D = Jarak kerja (meter)

Nilai gap antara konduktor dan nilai jarak eksponen pada setiap peralatan berdasarkan standar IEEE 1584-2002 ditunjukkan pada tabel 2.2 dibawah ini:

**Tabel 2.2** Jarak eksponen [10]

Tegangan Sistem (kV)	Tipe peralatan	Gap (mm)	x
0,208-1	<i>Open air</i>	<i>Oct-40</i>	2
	<i>Switchgear</i>	32	1,473
	<i>MCC and panels</i>	25	1,641
	<i>Cable</i>	13	2
>1-5	<i>Open air</i>	102	2
	<i>Switchgear</i>	13 - 102	0,973
	<i>Cable</i>	13	2
>5-15	<i>Open air</i>	13 - 153	2
	<i>Switchgear</i>	153	0,973
	<i>Cable</i>	13	2

Nilai jarak kerja berdasarkan IEEE 1584-2002 ditunjukkan pada tabel 2.3 dibawah ini:

**Tabel 2.3** Jarak kerja berdasarkan standar IEEE 1584-2002

Kelas peralatan	Jarak Kerja (mm)
switchgear 15 kV	910
switchgear 5 kV	910
Low - voltage switchgear	610
Low - voltage MCCs and panelboards	455

Arus *Arcing Fault* merupakan arus yang mengalir pada *electrical plasma arc* yang terjadi. Besarnya arus arcing berdasarkan persamaan IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut ini:

- ❖ Untuk tegangan bus  $< 1\text{kV}$  dan  $700\text{A} \leq I_B \leq 106\text{kA}$

$$\log(I_a) = K + 0.662 \times \log(I_B) + 0.0966 \times V + 0.000526 \times G + 0.5588 \times V \times \log(I_B) - 0.00304 \times G \times \log(I_B) \dots \dots \dots (2.10)$$

- ❖ Untuk tegangan bus  $\geq 1\text{kV}$  dan  $700\text{A} \leq I_B \leq 106\text{kA}$

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \times \log(I_B) \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$I_A$  = Arus Arcing fault (A)

$K$  = -0,153 untuk *open configuration* dan -0,097 untuk *box configuration*

$I_b$  = Arus hubung singkat 3 phasa di bus (kA)

$V$  = Tegangan bus (kV)

$G$  = *Gap* antar konduktor (milimeter)

### 2.7.2 Waktu Durasi Busur Api

Waktu durasi busur api dikenal dengan *Fault Clearing Time* (FCT) yang merupakan nilai total dari waktu operasi kerja CB ditambah dengan waktu kerja rele. Dapat disimpulkan, waktu durasi busur api adalah waktu pemutusan circuit breaker yang telah ditambahkan dengan waktu kerja rele pada bus yang dianalisis.

Waktu operasi kerja CB (*circuit breaker*) untuk terbuka berdasarkan standar IEEE 1584-2002 ditunjukkan pada tabel 2.4 dibawah ini:

**Tabel 2.4** Waktu operasi circuit breaker [10]

Rating dan Tipe CB	Waktu Terbuka (Cycle)	Waktu Terbuka (sekon)
Low Voltage (Molded Case) (<1kV)	1,5	0,025
Low Voltage (Insulated Case) (<1 kV)	3	0,05
Medium Voltage (1-35 kV)	5	0,08
High Voltage (>35 kV)	8	0,13

### 2.7.3 Jarak Perlindungan Busur Api

Jarak perlindungan terhadap busur api dikenal dengan istilah *Flash Protection Boundary*. *Flash Protection Boundary* menurut IEEE 1584 adalah jarak dimana seorang pekerja tidak menggunakan PPE (*Personal Protective Equipment*) akan terkena luka bakar tingkat dua.

Berdasarkan IEEE 1584, jarak perlindungan ( $D_B$ ) ditentukan menurut persamaan berikut ini:

- ❖ Untuk bus level tegangan < 15 kV

$$D_B = [4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)^{\frac{1}{x}}] \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

$D_B$  = Jarak perlindungan busur api

$E_B$  = Insiden Energi pada *boundary distance* (5 J/cm<sup>2</sup>)

$E_n$  = Insiden Energi ternormalisasi

$C_f$  = faktor pengali, jika >1kv = 1 jika <1kv = 1.5

$t$  = *Durasi arcing* (Fault Clearing Time )

$x$  = Jarak eksponen

- ❖ Untuk bus level tegangan ≥ 15 kV

$$D_B = [2.142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{E_B}\right)^{\frac{1}{2}}] \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

$D_B$  = Jarak perlindungan busur api

$E_B$  = Insiden Energi pada *boundary distance* (5 J/cm<sup>2</sup>)

$V$  = level tegangan bus (kV)

$I_B$  = Arus *Bolted* (kA)

$t$  = *Durasi arcing* / Fault Clearing Time (detik).

### 2.7.4 Standar NFPA 70E dan 1584-2002

Standar NFPA 70E berfungsi untuk rekomendasi perlindungan pekerja dari bahaya busur api berdasarkan perhitungan (sesuai standar IEEE 1584-2002) nilai insiden energi yang terjadi.

Kategori busur api berdasarkan nilai insiden energi yang terjadi dan *Personal protective equipment* yang disarankan oleh standar NFPA 70E ditunjukkan pada tabel 2.5 dibawah ini:

**Tabel 2.5** NFPA 70E kategori arc flash [11]

<i>Incident Energy From (cal/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Incident Energy To (cal/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Hazard Risk Category</i>	<i>Clothing Description</i>	<i>Clothing layers</i>	<i>Required Minimum Arc Rating of PPE (cal/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Class Color</i>
0.0	1.2	0	United Cotton + Safety Glasses	1	N/A	
1.2	4.0	1	FR Shirt & Pants + Safety Glasses	1	4	
4.0	8.0	2	Cotton Underwear + FR Shirt & Pants + Hood	1 or 2	8	
8.0	25.0	3	Cotton Underwear + FR shirt & Pants + FR Coveral + Hood	2 or 3	25	
25.0	40.0	4	Cotton Underwear + FR Shirt & Pants + Multilayer Flash Suit + Hood	3 or more	40	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 3**

## **SISTEM KELISTRIKAN**

### **PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA**

PT Chandra Asri merupakan perusahaan yang memproduksi bahan kimia seperti polyethylene, ethylene dan amoniak. Sedangkan PT Tri Polyta merupakan perusahaan yang memproduksi bahan-bahan plastik. Pada tahun 2012 PT Chandra Asri membeli PT Tri Polyta oleh karena itu PT Chandra Asri bergabung manajemen dengan PT Tri Polyta dan berencana untuk mengintegrasikan pembangkit listrik PT Tri Polyta dan PT Chandra Asri.

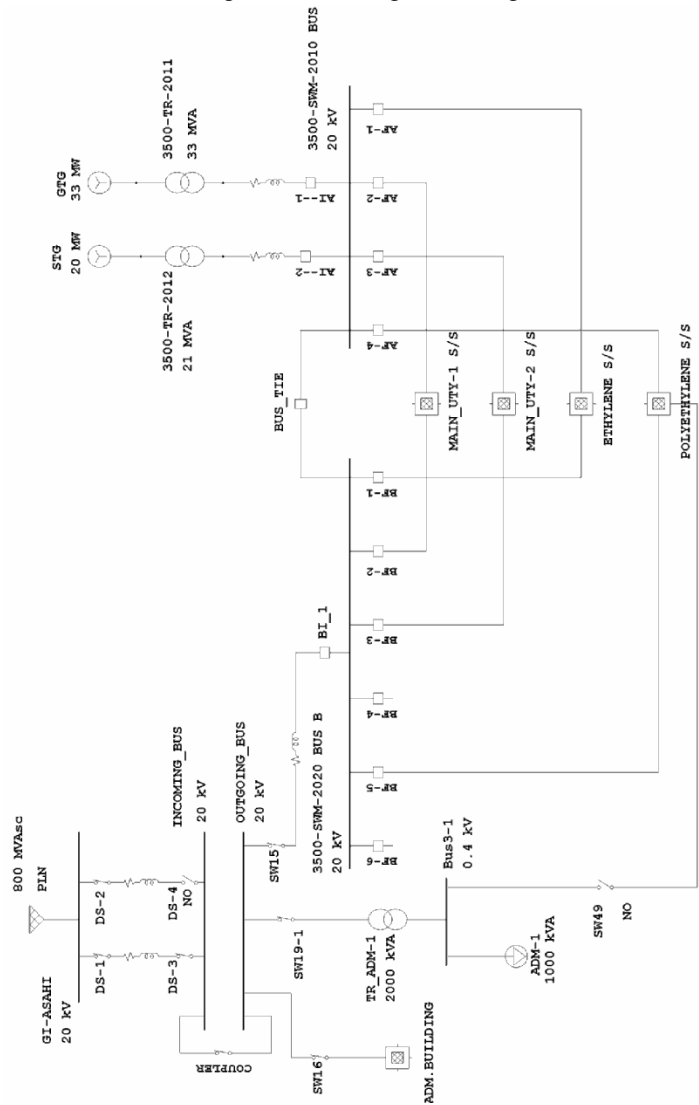
Beban total pada PT Tri Polyta setelah dilakukan integrasi akan disuplai dari PT Chandra Asri yang mempunyai suplai listrik berlebih, sedangkan suplai listrik dari PLN (GI Asahimas) 150 kV dengan total daya 30 MVA akan ditambah menjadi 60 MVA yang nantinya digunakan sebagai suplai cadangan.

#### **3.1 Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri**

Sistem kelistrikan PT Chandra Asri terdiri dari pembangkit, transmisi untuk distribusi listrik dan beban. Pembangkit listrik PT Chandra Asri terdiri dari:

1. Gas Turbin Generator (GTG) kapasitas 33 MW
2. Steam Turbin Generator (STG) kapasitas 20 MW
3. PLN ( GI Asahimas 20 kV) kapasitas 60 MW

Dibawah ini adalah gambar dari single line diagram PT Chandra Asri:



Gambar 3.1 Sngle line diagram PT. Chandra Asri



### **3.1.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri**

Distribusi Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri terdiri dari 3 klasifikasi tegangan, yaitu :

- ❖ Tegangan 20 kV  
Tegangan 20 kV didapatkan dari pembangkitan 11 kV oleh STG dan GTG yang dinaikkan dengan transformator TR-2012 dan TR-2011 yang selanjutnya tegangan ini disalurkan ke empat feeder utama beban PT Chandra Asri.
- ❖ Tegangan 6 kV  
Tegangan 6 kV didapatkan dari penurunan tegangan 20 kV yang melalui transformator pada seluruh feeder utama yaitu 3510-TR-6001A dan 3510-TR-6001B, 3510-TR-6002A dan 3510-TR-6002B, 3530-TR-6001A dan 3530-TR-6001B, 9500-TR-6001A dan 9500-TR-6001B. Tegangan ini digunakan untuk menyuplai beban motor-motor dengan daya besar yang terhubung pada main feeder dan juga untuk keperluan distribusi pada beban dengan tegangan 0,4 kV.
- ❖ Tegangan 0,4 kV  
Tegangan 0,4 kV didapatkan dari penurunan tegangan 6 kV melalui transformator. Tegangan ini digunakan untuk menyuplai beban motor-motor dengan daya kecil dan untuk penerangan serta keperluan administrasi PT Chandra Asri.

Dapat disimpulkan transformator merupakan alat yang penting untuk proses distribusi daya listrik di PT Chandra Asri. Dibawah ini merupakan daftar transformator yang terdapat di PT Chandra Asri:

**Tabel 3.1** Daftar transformator daya

No	ID Trafo	Kapasitas ( kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
1	TR-2011	33000	11 ke 20	bus A-SWM-2010
2	TR-2012	21000	11 ke 20	bus A-SWM-2010
3	TR-ADM-1	1000	20 ke 0,4	bus 3-1
4	3510-TR-6001B	15000	20 KE 6	bus 154-1
5	3510-TR-6001A	15000	20 ke 6	bus -A-1
6	3510-TR-6002B	15000	20 ke 6	bus 3510-SWM-B
7	3510-TR-6002A	15000	20 ke 6	bus 3510-SWM-A
8	3530-TR-6001B	16000	20 ke 6	bus 3530-SWM-B
9	3530-TR-6001A	16000	20 ke 6	bus 3530-SWM-A
10	9500-TR-6001B	20000	20 ke 6	bus 9500-SWM-B
11	9500-TR-6001A	20000	20 ke 6	bus 9500-SWM-A
12	TR_ADM	1000	20 ke 0,4	bus 3-1
13	3531-TR-3801	630	6 ke 0,4	bus 201
14	3512-TR-3801B	630	6 ke 0,4	bus 203
15	3510-TR-3801A	1600	6 ke 0,4	bus 195
16	3510-TR-3801B	1600	6 ke 0,4	bus 205
17	3511-TR-3801A	1000	6 ke 0,4	bus 196
18	3511-TR-3801B	1000	6 ke 0,4	bus 204
19	3512-TR-3801A	530	6 ke 0,4	bus 197
20	3513-TR-3801	630	6 ke 0,4	Bus198
21	3514-TR-3801	1000	6 ke 0,4	bus 202
22	3515-TR-3801	1250	6 ke 0,4	bus 200

No	ID Trafo	Kapasitas ( kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
23	3530-TR-3801A	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3801
24	3530-TR-3801B	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3801B
25	3530-TR-3802A	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3802A
26	3530-TR-3802B	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3802B
27	3530-TR-3803	1600	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3803
28	9500-TR-3801A	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3801A
29	9500-TR-3801B	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3801B
30	9500-TR-3802A	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3802A
31	9500-TR-3802B	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3802B
32	9500-TR-3803B	1000	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3803B
33	TR-2	600	6 ke 0,4	bus 156
34	TR-1	800	6 ke 0,4	bus 19-1
35	TR3803A-C2	1200	6 ke 0,75	bus 37-1
36	TR-3803A-C1	1200	6 ke 0,75	bus 35-1

### 3.1.2 Klasifikasi Beban PT Chandra Asri

PT Chandra Asri mempunyai 4 main feeder yang diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan kontinuitas daya listriknya, yaitu beban-beban prioritas dan non prioritas.

Beban-beban prioritas memerlukan kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil karena apabila suplai terputus maka akan mengakibatkan penurunan kualitas hasil produksi. Selain itu, terputusnya suplai ketika produksi dapat membahayakan lingkungan sekitar.

Daftar main feeder yang terdapat pada Single Line Diagram PT Chandra Asri :

- A. Main Utility 1 (dari transformator 3510-TR-6001A dan B)
- B. Main Utility 2 (dari transformator 3510-TR-6002A dan B)
- C. Ethylene (dari transformator 3530-TR-6001A dan B)
- D. Polyethylene (dari transformator 9500-TR-6001A dan B)

#### A. Feder Main Utility 1

Main Utility 1 terdiri dari bus 154-1 yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-TR-6001 B dan bus A-1 yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-TR-6001A. Kedua bus mempunyai tegangan kerja 6 kV. Feeder main utility menyuplai beban-beban seperti CCR, CW/SW, WWT, Water Treatment, Admin dan Tank Yard Amonia. Tank yard Amonia adalah beban prioritas yang memerlukan kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil karena apabila suplai terputus maka alat pengaman tangki seperti kontrol tekanan dan kontrol suhu akan mati. Hal ini akan menimbulkan bahaya ledakan.

Mayoritas beban pada feeder main utility 1 adalah motor dengan tegangan kerja 6 kV, motor dengan tegangan 0.4 kV serta lump yang terdiri dari motor kapasitas kecil dan beban-beban lampu atau non motor.

Data beban-beban pada main utility 1 dapat dilihat di tabel 3.2 dan tabel 3.3. Pada tabel 3.2 memperlihatkan data beban motor sedangkan pada tabel 3.3 memperlihatkan data lump.

**Tabel 3.2** Daftar motor feeder main utility 1

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV )	Kapasitas Daya (kW)
1	GB-5101C-M	6	725
2	GA-4101D-M	6	1900
3	GA-9002A-M	6	500
4	GB-5101B-M	6	725
5	GA-4101C-M	6	1900
6	GA-4102B-M	6	1900
7	GA-4202B-M	6	185
8	GB-2001B-M	6	355
9	GA-4001D-M	6	2200
10	GB-5101E-M	6	725
11	GB-2001A-M	6	355

No	ID Motor	Tegangan kerja( kV )	Kapasitas Daya(kW)
12	GA-2001C-M	6	355
13	GA-4001C-M	6	2200
14	GB-5101D-M	6	725

**Tabel 3.3** Data beban lump pada feeder main utility 1

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	Berth_C	6	200
2	CCR	0,38	630
3	Lump 39-1	0,38	1000
4	CW/SW	0,38	630
5	water Treatment	0,38	1000
6	Lump-*6	0,38	1600
7	CW/SW.	0,38	630
8	Lump *8	0,38	1000
9	Lump 39	0,38	1250
10	ADMIN	6	1000
11	main utility	0,38	1600

#### B. Feeder Main Utility 2

Main Utility 2 terdiri dari bus 3510-SWM-6002-B yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-TR-6002-B dengan kapasitas 15 MVA dan bus 3510-SWM-6002-A yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-SWM-6002-A dengan kapasitas 15 MVA. Tegangan kerja kedua bus adalah 6 kV. Feeder main utility menyuplai beban motor untuk penunjang proses produksi dan lump yang mempresentasikan beban motor dan beban lain.

Beban-beban pada feeder main utility 2 dapat dilihat pada tabel 3.4 dan tabel 3.5. Pada tabel 3.4 memperlihatkan data beban motor sedangkan pada tabel 3.5 memperlihatkan data lump.

**Tabel 3.4** Data motor yang ada pada feeder main utility 2

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (KW)
1	GA-5101E-M	6	725
2	GB-5101D-M	6	725
3	GA-4001C-M	6	2200
4	GA-2002C-M	6	355
5	GB-2001A-M	6	355
6	GB-2001B-M	6	355
7	GA-4001O-M	6	2200
8	GA-4202B-M	6	185
9	GA-4102B-M	6	1900

**Tabel 3.5** Data lump yang ada pada feeder main utility 2.

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	N2- Generation	6	2000
2	Chlorinator	6	532

### C. Feeder Ethylene

Feeder Ethylene terdiri dari bus 3530-SWM-6001A yang mendapatkan suplai dari transformator 3530-TR-6001 A dengan kapasitas daya 16 MVA dan bus 3530-SWM-6001 B yang mendapatkan suplai dari transformator 3530-TR-6001 B dengan kapasitas daya 16 MVA. Kedua bus mempunyai tegangan kerja 6 kV. Feeder ethylene menyuplai beban-beban untuk proses produksi bahan kimia berupa ethylene. Beban-beban tersebut adalah motor dan lump.

Data motor ditunjukkan pada tabel 3.6 sedangkan data lump yang mempresentasikan motor kapasitas kecil serta beban-beban statis lainnya ditunjukkan pada tabel 3.7

**Tabel 3.6** Data motor pada feeder ethylene

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	GA-1202B-M	6	170
2	GA-701C-M	6	1500
3	GA-4118-M	6	240
4	GA-301B-M	6	250
5	GB-117-M	6	200
6	GB-116-M	6	200
7	GA-108C-M	6	730
8	GB-107-M	6	355
9	GB-106-M	6	355
10	GA-101C-M	6	1650
11	GB-301-M	6	3910
12	GA-101B-M	6	1650
13	GB-102-M	6	190
14	GB-103-M	6	355
15	GB-104-M	6	355
16	GB-105-M	6	355
17	GB-108B-M	6	730
18	GB-110-M	6	255
19	GB-113-M	6	200
20	GB-114-M	6	220
21	GB-115-M	6	200
22	GA-301A-M	6	250
23	GA-411A-M	6	240
24	GB-901-M	6	155
25	GA-1202A-M	6	170

**Tabel 3.7** Data lump pada feeder ethylene

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya(kW)
1	Lump 304	0,38	1250
2	Lump 303	0,38	1250
3	Lump 306	0,38	1250
4	Lump 305	0,38	1250
5	Lump 307	0,38	1600

**D. Feeder Polyethylene**

Feeder Polyethylene terdiri dari bus 9500-SWM-6001-A yang mendapatkan suplai dari transformator 9500-TR-6001-A dengan kapasitas daya 20 MVA dan bus 9500-SWM-6001-B yang mendapatkan suplai dari transformator 9500-TR-6001-B dengan kapasitas daya 20 MVA. Kedua bus mempunyai tegangan kerja 6 kV.

Tetapi dari tegangan kerja 6 kV diperlukan penurunan tegangan melalui transformer menjadi 0.75 kV untuk menyuplai beban berupa motor khusus yaitu motor YM-7004 dan motor YM-7007. Feeder ini menyuplai beban-beban untuk proses produksi bahan kimia berupa polyethylene. Beban-beban tersebut adalah motor dan lump.

Data motor ditunjukkan pada tabel 3.8 sedangkan data lump ditunjukkan pada tabel 3.9

**Tabel 3.8** Data motor pada feeder polyethylene

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	KM-8024	6	200
2	KM-8006	6	200
3	KM-5206	6	420
4	YM-7001	6	5800
5	KM-4003	6	3800



No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
6	YM-7501	6	4200
7	KM-2504	6	210
8	KM-2505	6	210
9	GM-4502	6	300
10	GM-4521	6	180
11	GM-4602	6	370
12	GM-4621	6	200
13	KM-5601	6	1100
14	SM-6612	6	170
15	YM-7004	0,75	800
16	YM-7007	0,75	180

**Tabel 3.9** Data lump pada feeder polyethylene

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	LUMP_3801A	0,38	1600
2	LUMP_3801B	0,38	1600
3	LUMP_3802A	0,38	1600
4	LUMP_3802B	0,38	1600
5	LUMP_3803B	0,38	1000

### 3.1.3 Beban Prioritas PT Chandra Asri

Beban prioritas pada PT Chandra Asri adalah tank yard amonia yang memerlukan kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil karena apabila suplai terputus maka alat pengaman tangki seperti kontrol tekanan dan suhu akan mati dan hal ini dapat menimbulkan ledakan.

Terdapat dua beban tank yard amonia yaitu tank yard 1 dan tank yard 2. Tank yard 1 dan tank yard 2 terdapat pada feeder main utility 1. Beban tank yard 1 mendapat suplai listrik dari bus 3154-SWM-6001 sedangkan beban tank yard 2 mendapatkan suplai listrik dari bus 102-3.

Pada tabel 3.10 dan 3.11 menunjukkan data-data beban motor dan lump pada tank yard 1 sedangkan pada tabel 3.12 dan 3.13 menunjukkan data-data beban motor dan lump pada tank yard 2.

**Tabel 3.10** Data motor tank yard 1

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	GA-180A-M	6	290
2	GA-1808B-M	6	290

**Tabel 3.11** Data lump tank yard 1

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	Lump 39-1	0,38	1000
2	berth_C	6	200

**Tabel 3.12** Data motor tank yard 2

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	GA-1803A-M	6	185
2	GA-1803B-M	6	185

**Tabel 3.13** Data lump tank yard 2

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kVA)
1	Lump 39	0,38	1250

### **3.2 Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta**

PT Tri Polyta merupakan perusahaan yang memproduksi bahan-bahan plastik. PT Tri Polyta mendapatkan suplai listrik dari PLN 150 kV dengan kontrak daya 25 MVA yang selanjutnya tegangan diturunkan melalui transformator T11 dengan kapasitas 60 MVA menjadi tegangan 20 kV. Lalu tegangan 20 kV disalurkan ke bus ISBL melalui transformator Main TX-A dan bus TRAIN-3 melalui transformator Main TX-B. Tegangan kerja bus ISBL dan TRAIN-3 adalah 6 kV.

Setelah dilakukan integrasi dengan PT Chandra Asri, suplai langsung PLN ke PT Tri Polyta akan diputus dan digantikan dengan suplai listrik dari pembangkit yang dimiliki oleh PT Chandra Asri. Sedangkan suplai PLN ke PT Chandra Asri nantinya akan digunakan sebagai suplai cadangan listrik, sehingga dilakukan penambahan kapasitas total daya dari 30 MVA menjadi 60 MVA. Berikut ini single line diagram PT Tri Polyta:



### **3.2.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta**

Distribusi Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta terdiri dari 3 klasifikasi tegangan, yaitu :

- Tegangan 20 kV  
Tegangan 20 kV didapatkan dari bus GI Asahimas yang disuplai oleh PLN. Tegangan 20 kV ini selanjutnya disalurkan ke bus ISBL melalui transformator Main TX A dan bus TRAIN 3 melalui transformator Main TX B. Kedua transformator mempunyai kapasitas daya 26 MVA.
- Tegangan 6 kV  
Tegangan 6 kV didapatkan dari penurunan tegangan 20 kV melalui transformator Main TX-A dan transformator Main TX-B yang berasal dari bus GI Asahimas yang disuplai oleh PLN. Terdapat 4 bus dengan tegangan kerja 6 kV, yaitu bus ISBL, TRAIN 3, OSBL dan BTF. Keempat bus tersebut berfungsi untuk menyuplai beban-beban dengan daya besar dan untuk keperluan distribusi suplai listrik pada beban dengan tegangan 0.4 kV. Kebutuhan suplai listrik pada beban dengan tegangan 0.4 kV dapat dipenuhi melalui penurunan tegangan dari 6 kV menjadi 0.4 kV menggunakan transformator.
- Tegangan 0,4 kV  
Tegangan 0.4 kV didapatkan dari penurunan tegangan dari 6 kV menggunakan transformator. Tegangan ini digunakan untuk menyuplai beban motor-motor dengan daya kecil, beban statis dan untuk keperluan penerangan.

Dapat disimpulkan transformator merupakan alat yang penting dan dibutuhkan untuk proses distribusi daya listrik dari pembangkit ke beban pada PT Tri Polyta. Dibawah ini merupakan daftar transformator yang terdapat di PT Tri Polyta:

**Tabel 3.14** Transformator yang digunakan PT. Tri Polyta

No	ID Transformator	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
1	Main TX-A	26000	20 ke 6	ISBL
2	Main TX-B	26000	20 ke 6	Train 3
3	T 30	1600	6 ke 0,4	bus 104
4	T 31	1000	6 ke 0,4	bus 107
5	T 32	1000	6 ke 0,4	bus 109
6	T 38	630	6 ke 0,4	bus 121
7	T 33	630	6 ke 0,4	bus 111
8	T 34	2000	6 ke 0,4	bus 113
9	T 35	2000	6 ke 0,4	bus 114
10	T 29	2000	6 ke 0,4	bus 101
11	T 37	1000	6 ke 0,4	bus 117
12	T 36	600	6 ke 0,4	bus 116

### 3.2.2 Klasifikasi Beban PT Tri Polyta

Beban kelistrikan pada PT Tri Polyta dibagi menjadi 2 main feeder, yaitu feeder bus ISBL yang disuplai oleh transformator Main TX-A dan feeder bus TRAIN 3 yang disuplai oleh transformator Main TX-B. Kedua main feeder mempunyai tegangan kerja 6 kV.

#### ❖ Bus ISBL

Pada bus ISBL terdapat substation OSBL. Data beban-beban motor pada bus ISBL dapat dilihat pada tabel 3.15 sedangkan data beban-beban motor pada substation OSBL dapat dilihat pada tabel 3.17. Selain beban motor terdapat beban lump yang dapat dilihat pada tabel 3.16 untuk bus ISBL dan tabel 3.18 untuk substation OSBL.

**Tabel 3.15** Daftar motor pada substation ISBL

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 80	6	2813
2	Mtr 79	6	2250
3	Mtr 78	6	520
4	Mtr 66	6	520
5	Mtr 67	6	520
6	Mtr 68	6	850

**Tabel 3.16** Daftar lump pada substation ISBL

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kVA)
1	Lump 42	0,4	240
2	Lump 43	0,4	350
3	Lump 44	0,4	100
4	Lump 50	0,4	380
5	Lump 45	0,4	345

**Tabel 3.17** Daftar motor pada substation OSBL

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas Daya (kW)
1	Mtr 57	6	1100
2	Mtr 58	6	260
3	Mtr 56	6	260
4	Mtr 59	6	260
5	Mtr 60	6	190
6	Mtr 61	6	190
7	Mtr 62	6	190
8	Mtr 63	6	350
9	Mtr 64	6	220

**Tabel 3.18** Daftar lump pada substation OSBL

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kVA)
1	Lump 40	0,4	1000
2	Load 13	0,4	1821

## ❖ Bus TRAIN 3

Pada bus TRAIN 3 terdapat substation BTF. Data beban-beban motor pada bus TRAIN 3 dapat dilihat pada tabel 3.19 sedangkan data beban-beban motor pada substation BTF dapat dilihat pada tabel 3.21. Selain beban motor terdapat beban lump yang dapat dilihat pada tabel 3.20 untuk bus TRAIN 3 dan tabel 3.22 untuk substation BTF.

**Tabel 3.19** Data motor pada substation Train 3

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 74	6	1325
2	Mtr 73	6	3100
3	Mtr 71	6	1000
4	Mtr 72	6	1110
5	Mtr 70	0,4	10
6	Mtr 69	0,4	8,5

**Tabel 3.20** Data lump pada substation Train 3

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	lump 46	0,4	660
2	lump 47	0,4	390
3	lump 48	6	310



**Tabel 3.21** Data motor pada substation BTF

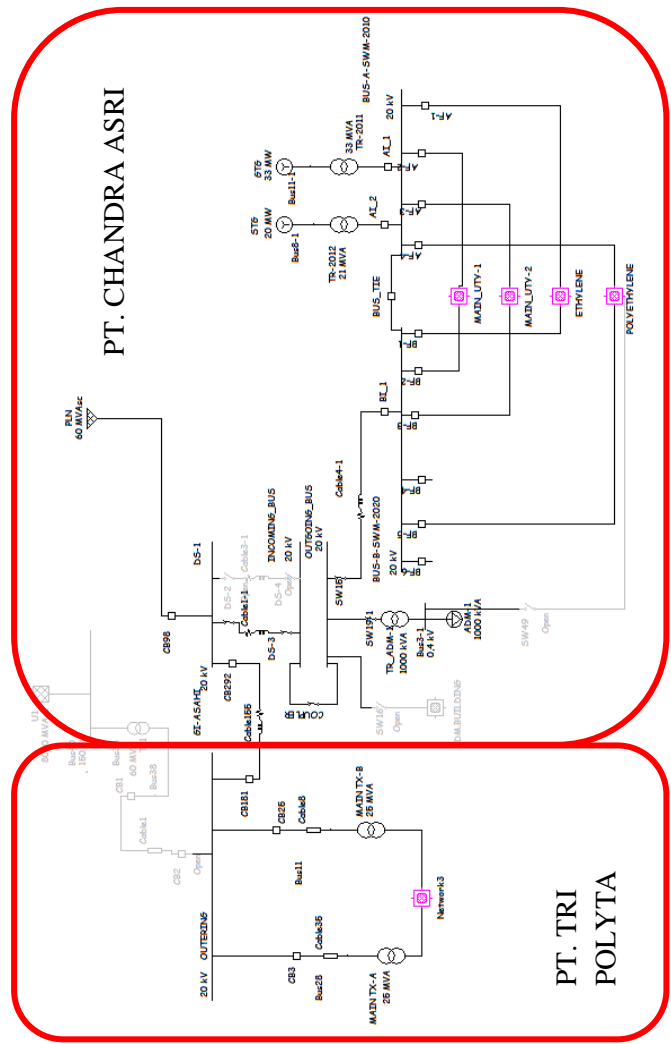
No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 77	6	475
2	Mtr 75	6	1325
3	Mtr 76	6	1250

**Tabel 3.22** Data lump pada substation BTF

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kVA)
1	Lump 49	0,4	390

PT Tri Polyta membutuhkan kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil karena proses produksi dilakukan secara berurutan sehingga apabila suplai listrik terputus maka plastik yang diproses akan sulit untuk diuraikan lagi.

Single line diagram PT Tri Polyta terintegrasi dengan PT Chandra Asri



Gambar 3.3 Single line diagram PT. Chandra Asri integrasi PT. Tri Polyta

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

#### **4.1 Pemodelan dan Analisis Sistem Kelistrikan**

Pemodelan sistem kelistrikan PT Chandra Asri yang telah terintegrasi dengan PT Tri Polyta dilakukan dengan menggambarkan single line diagram pada software ETAP 7.5. Hasil analisis koordinasi proteksi dilakukan dengan mengambil tipikal yang mewakili kedua plant perusahaan yang selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat antar fasa. Sedangkan analisis bahaya busur api dilakukan dengan simulasi *arcflash* untuk mengetahui nilai insiden energi yang terjadi, kategori personal protective equipment, jarak aman perlindungan dan rekomendasi untuk mengurangi bahaya busur api.

Dari sistem kelistrikan PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta diambil 4 tipikal yang mewakili beban penting kedua perusahaan. Pada tipikal yang sudah ditentukan dilakukan analisis koordinasi proteksi dan analisis busur api dilakukan untuk setiap bus tegangan menengah. Berikut ini adalah 4 tipikal tersebut:

- Tipikal 1: koordinasi proteksi dari PLN melewati Trafo Main TX-B sampai beban Motor ELLIOT
- Tipikal 2: koordinasi proteksi dari PLN melewati Trafo Main TX-A sampai beban Lumped 1
- Tipikal 3: koordinasi proteksi dari generator GTG melewati Trafo TR-2011 ke bus A-SWM-2010 hingga lump 39
- Tipikal 4: koordinasi proteksi dari generator STG melewati Trafo TR-2012 ke bus A-SWM-2010 hingga motor GB-5101C-M

## 4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis hubung singkat pada PT Chandra Asri yang terintegrasi dengan PT Tri Polyta dilakukan dengan menggunakan software ETAP. Simulasi yang dilakukan adalah:

### A. Arus hubung singkat maksimum

Arus hubung singkat 3 fasa pada 4 cycle digunakan untuk mengetahui batas kerja rele dengan *instantaneous setting* atau dengan *time delay* kurang dari 0.6 detik dari rele arus lebih. Sedangkan batas kerja rele arus lebih dengan *time delay* lebih dari atau sama dengan 0.6 detik menggunakan arus hubung singkat 3 fasa pada 30 cycle. Simulasi arus hubung singkat 3 fasa pada  $\frac{1}{2}$  cycle digunakan untuk setting rele di primer trafo karena mempertimbangkan pengaruh arcflash.

Semua simulasi dilakukan dengan kondisi pembangkitan maksimum yaitu ketika kondisi PLN-STG-GTG = ON.

### B. Arus hubung singkat minimum

Untuk mengetahui nilai arus hubung singkat minimum dilakukan analisis hubung singkat antar fasa (*line to line fault*) pada 30 cycle dengan kondisi pembangkitan minimum, yaitu ketika: PLN (*swing*) - GTG (vc) = ON - STG (vc) = OFF.

Hasil simulasi hubung singkat maksimum dan minimum dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4.1** Isc min 30 Cycle

Bus		Isc Min 30 cycle
ID	kV	kA
GI ASAHIMAS	20	15,73
A-SWM-2010	20	15,52
A-1	6	12
102-3	6	11,78
3510-SWM-6002	6	11,21
Outering	20	14,74

Bus		Isc Min 30 cycle
ID	kV	kA
TRAIN 3	6	15,41
BTF	6	15,09
ISBL	6	15,87
OSBL	6	15,2

**Tabel 4.2** Isc max 4 cycle

Bus		Isc Max 4 cyle
ID	kV	kA
GI ASAHIMAS	20	30,01
A-SWM-2010	20	29,8
A-1	6	17,61
102-3	6	17,21
3510-SWM-6002	6	17
Outering	20	27,57
TRAIN 3	6	25,63
BTF	6	24,98
ISBL	6	25,91
OSBL	6	24,55

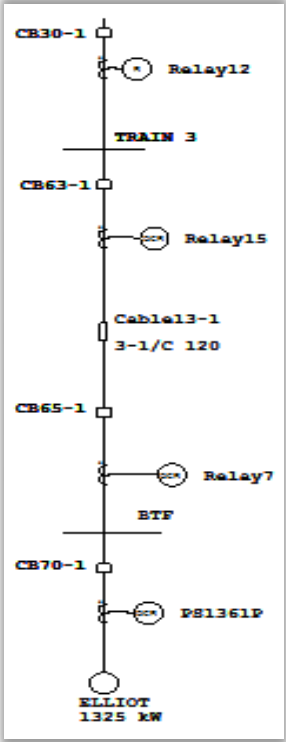
**Tabel 4.3** Isc max  $\frac{1}{2}$ cycle

Bus		Isc Max $\frac{1}{2}$ cycle
ID	kV	Ka
TRAIN 3	6	29,34
ISBL	6	30,15

**4.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa**

**4.3.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 1**

➤ **Tipikal 1A**



**Gambar 4.1** SLD tipikal 1A

**Relay PS1361P**

<i>Manufacturer</i>	: GEC
<i>Model</i>	: MCGG
FLA Elliot	: 170,7 A
Isc min30 cycle bus BTF	: 15,09 kA
Isc max BTF	: 24,98 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Long Time Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 125 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 170,7 < I_{set} < 1,4 \times 170,7$$

$$179,235 < I_{set} < 238,98$$

$$\frac{179,235}{125} < Tap < \frac{238,98}{125}$$

$$1,433 < Tap < 1,9112$$

(range : 0,05 sampai 2,4 s, dengan steps 0,05s)

Dipilih tap = 1,5

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,5 \times 125 = 187,5$$

**Time Dial**

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left( \frac{120}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$0,2 = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{24980}{187,5} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$TD = 0,22$$

$TD \geq 0,22$ , dipilih  $TD = 0,4$  (range 0,05 s -2,4 s dengan step 0,025 s)

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 FLA < I_{\gg} < 0,8 I_{sc \text{ min BTF}}$$

$$1,6 \times 170,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 15,09 \text{ kA}$$

$$273,12 < I_{\gg} < 12072$$

$$\frac{237,12}{187,5} < \text{Tap} < \frac{12072}{187,5}$$

$$1,264 < \text{Tap} < 64,384$$

(range : 1 sampai 31 s, dengan step 1 s)

Dipilih tap= 10

$$\text{Iset} = \text{tap} \times \text{I}_{\text{primer overcurrent}} = 10 \times 187,5 = 1875$$

### **Relay 7**

<i>Manufacturer</i>	: GEC
<i>Model</i>	: MCGG
FLA Kontribusi BTF	: 483,7 A
Isc min 30 cycle BTF	: 15,09 kA
Isc max BTF	: 24,98 kA
<i>Curve Type</i>	: Long Time Inverse
<i>CT Ratio</i>	: 1000/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 483,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 483,7$$

$$507,885 < \text{Iset} < 677,18$$

$$\frac{507,885}{1000} < \text{Tap} < \frac{677,18}{1000}$$

$$0,507 < \text{Tap} < 0,677$$

(range : 0,05 sampai 2,4 s, dengan steps 0,05s)

Dipilih tap = 0,55

$$\text{Iset} = \text{tap} \times \text{N}_{\text{CT primer}} = 0,55 \times 1000 = 550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{120}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$0,4 = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{24980}{550} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$



$$TD = 0,148$$

$TD \geq 0,148$  dipilih  $TD = 0,15$  (range 0,05-2,4 s dengan step 0,025 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 I_{sc} \text{ min BTF}$$

$$1,6 \times 483,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 15,09 \text{ kA}$$

$$773,92 < I_{\gg} < 12072$$

$$\frac{773,92}{550} < \text{Tap} < \frac{12072}{550}$$

$$1,407 < \text{Tap} < 21,94$$

(range : 1 sampai 31s, dengan step 1s)

Dipilih tap = 6

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 6 \times 550 = 3300$$

### **Relay 15**

*Manufacturer* : GEC

*Model* : MCGG

FLA Kontribusi BTF : 483,7 A

Isc min 30 cycle bus TRAIN 3 : 15,41 kA

Isc max TRAIN 3 : 25,63 kA

*Curve Type* : Long Time Inverse

*CT Ratio* : 1000/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 483,7 < I_{set} < 1,4 \times 483,7$$

$$507,885 < I_{set} < 677,18$$

$$\frac{507,885}{1000} < \text{Tap} < \frac{677,18}{1000}$$

$$0,507 < \text{Tap} < 0,677$$

(range : 0,05 sampai 2,4 s, dengan steps 0,05 s)

Dipilih tap = 0,55

$$I_{set} = \text{tap} \times N_{CT \text{ primer}} = 0,55 \times 1000 = 550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{120}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$0,4 = \left( \frac{120}{\left( \left( \frac{25630}{550} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$TD = 0,15$$

$TD \geq 0,15$  dipilih  $TD = 0,15$  (range 0,05-2,4 s dengan step 0,025 s)

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \times FLA < I_{>} < 0,8 I_{sc \text{ min Train 3}}$

$1,6 \times 483,7 < I_{>} < 0,8 \times 15,41 \text{ kA}$

$773,92 < I_{>} < 12328$

$$\frac{773,92}{550} < Tap < \frac{12328}{550}$$

$$1,407 < Tap < 22,414$$

(range : 1 sampai 31s, dengan step 1s)

Dipilih tap = 6

$I_{set} = tap \times I_{\text{primer overcurrent}} = 6 \times 550 = 3300$

### **Relay 12**

*Manufacturer* : Alstom

*Model* : P122

FLA Sekunder Trafo Main TX B : 2291 A

Isc min30 cycle bus TRAIN 3 : 15,41 kA

Isc max bus TRAIN 3 : 25,63 kA

*Curve Type* : *Very Inverse*

*CT Ratio* : 2500/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$

$1,05 \times 2291 < I_{set} < 1,4 \times 2291$

$2405,55 < I_{set} < 3207,4$

$$\frac{2405,55}{2500} < Tap < \frac{3207,4}{2500}$$

$$0,962 < Tap < 1,282$$

(range : 0,1 sampai 25 s, dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 0,97

$$I_{set} = \text{tap} \times N_{CT \text{ primer}} = 0,97 \times 2500 = 2425$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$
$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$0,6 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{25630}{2425} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$TD = 0,425$$

$TD \geq 0,425$ , dipilih  $TD = 0,45$  (range 0,1-25 s dengan step 0,025 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min Train 3}}$$

$$1,6 \times 2291 < I_{set} < 0,8 \times 15,41 \text{ kA}$$

$$3665,6 < I_{set} < 12328$$

$$\frac{3665,6}{2500} < \text{Tap} < \frac{12328}{2500}$$
$$1,466 < \text{Tap} < 4,9312$$

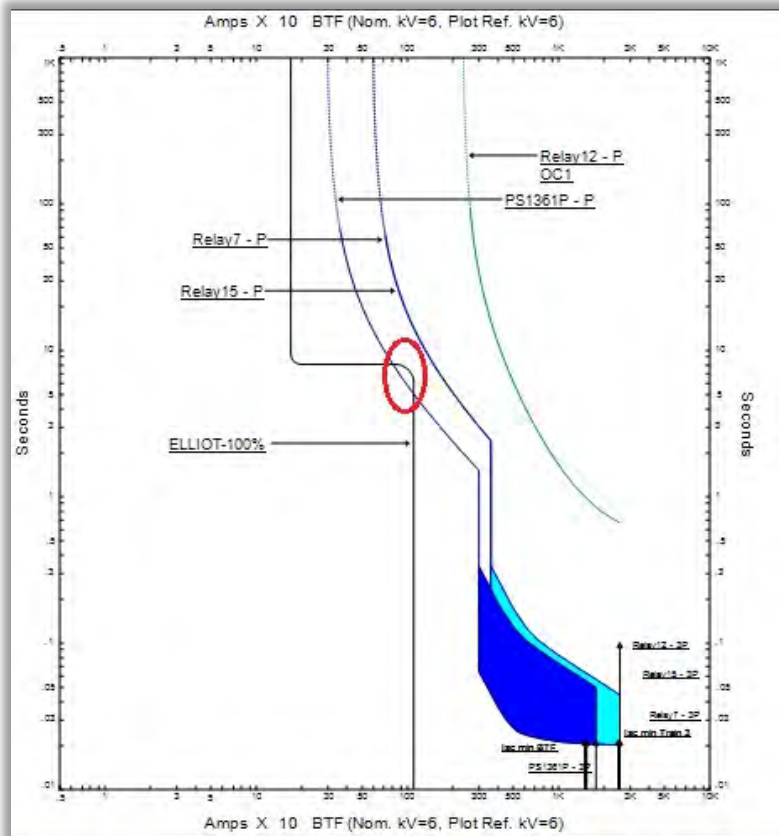
(range : 0,5 sampai 40 s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 4 \times 2500 = 10000$$

### **Time Delay**

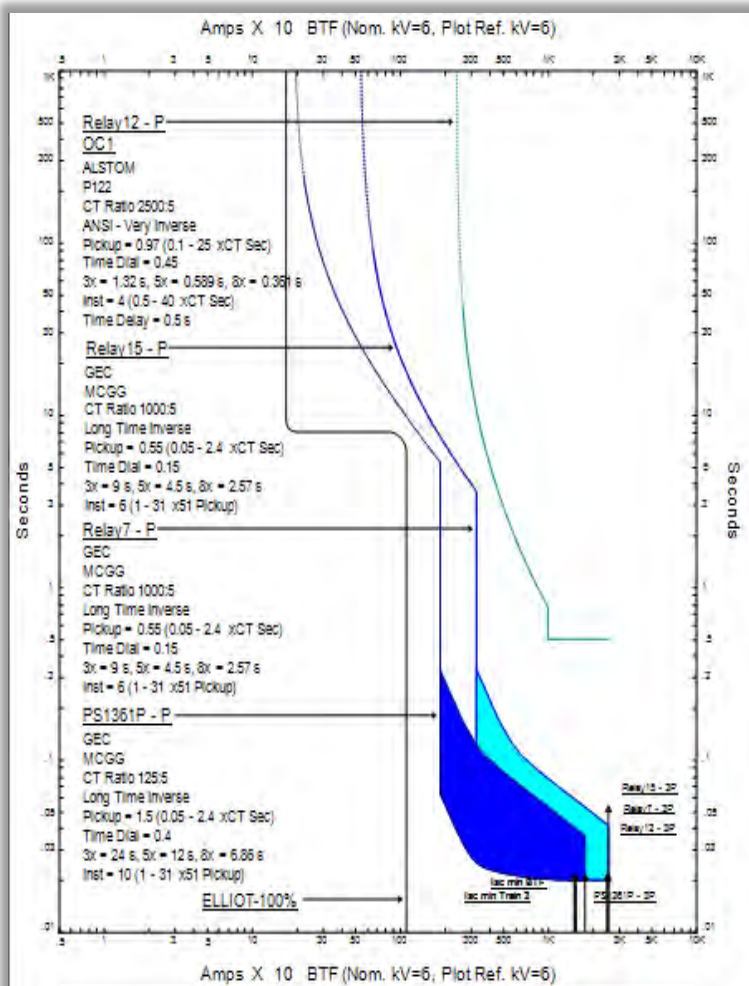
Waktu operasi = 0,5 s



**Gambar 4.2** Kurva koordinasi eksisting tipikal 1A

Dari gambar 4.2 kurva koordinasi eksisting tipikal 1A dapat dilihat terdapat koordinasi proteksi yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan *resetting* pada rele. Yang dilingkari merah pada gambar diatas menunjukkan *setting* yang harus diperbaiki. Berikut merupakan keterangannya :

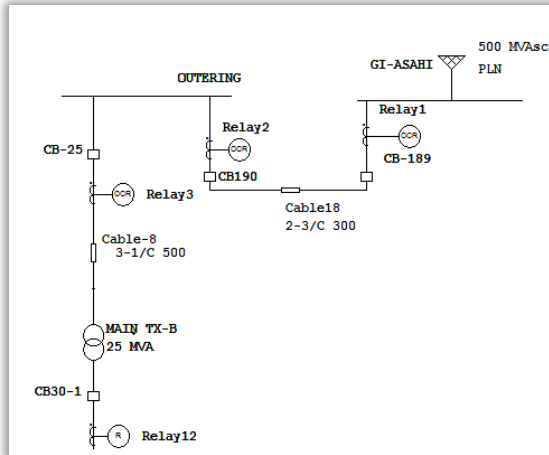
- Pada Relay PS 1361 terlihat bahwa kurva time dialnya mengenai kurva starting motor sehingga saat starting motor rele PS 1361 akan bekerja



**Gambar 4.3** Kurva koordinasi resetting tipikal 1A

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa resetting rele arus lebih sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin.

➤ **Tipikal 1B**



**Gambar 4.4** Single line diagram tipikal 1B

**Relay 3**

<i>Manufacturer</i>	: ABB
<i>Model</i>	: SPAJC 140C
FLA Primer Trafo Main TX B	: 721,7 A
Isc min30 cycle bus OUTERING	: 14,74kA
Isc max OUTERING	: 25,57 kA
Iscmax 1/2 cycle bus TRAIN 3	: 29,34 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 600/1

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 721,7 < Iset < 1,4 \times 721,7$$

$$757,78 < Iset < 1010,38$$

$$\frac{757,78}{600} < Tap < \frac{1010,38}{600}$$

$$1,26 < Tap < 1,68$$

(range : 0,5 sampai 2,5s, dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,3

$$Iset = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,3 \times 600 = 780$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$
$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$0,2 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{25750}{780} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$TD = 0,47$$

$TD \geq 0,47$  , dipilih  $TD = 0,5$  (range 0,5-40s dengan step 0,1 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$\frac{6,3}{20} I_{sc\ max} \frac{1}{2} \text{ cycle TRAIN } 3 < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc\ min\ OUTERING}$$

$$0,315 \times 29340 \text{ kA} < I_{\gg} < 0,8 \times 14740$$

$$9242,1 < I_{\gg} < 11792$$

$$\frac{9242,1}{600} < \text{Tap} < \frac{11792}{600}$$
$$15,403 < \text{Tap} < 19,653$$

(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,1s)

Dipilih tap = 17

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 17 \times 600 = 10200$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,1 s

### **Relay 2**

<i>Manufacturer</i>	: ABB
<i>Model</i>	: SPAJC 140C
FLA Kontribusi OUTERING	: 1443,4 A
Isc min 30 cycle bus OUTERING	: 14,74 kA
Isc max bus OUTERING	: 27,57 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000/1

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1443,4 < I_{set} < 1,4 \times 1443,4$$

$$1515,57 < I_{set} < 2020,76$$

$$\frac{1515,57}{1000} < Tap < \frac{2020,76}{1000}$$
$$1,515 < Tap < 2,02$$

(range : 0,1 sampai 2,5 s dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,55

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,55 \times 1000 = 1550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$0,4 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{27570}{1550} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$TD = 0,497$$

$TD \geq 0,497$  , dipilih  $TD = 0,55$  (range 0,5-2,5s dengan step 0,01 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min OUTERING}}$$

$$1,6 \times 1443,4 < I_{set} < 0,8 \times 14,74 \text{ kA}$$

$$2309,44 < I_{set} < 11792$$

$$\frac{2309,44}{1000} < Tap < \frac{11792}{1000}$$
$$2,309 < Tap < 11,792$$

(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,01s)

Dipilih tap = 11

$$I_{set} = tap \times I_{\text{primer overcurrent}} = 11 \times 1000 = 11000$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,3 s



### **Relay 1**

<i>Manufacturer</i>	: ABB
<i>Model</i>	: SPAJC 140C
FLA Kontribusi OUTERING	: 1443,4 A
Isc min30 cycle bus GI ASASHI	: 15,73 kA
Isc max bus GI ASASHI	: 30,01 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000/1

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1443,4 < I_{set} < 1,4 \times 1443,4$$

$$1515,57 < I_{set} < 2020,76$$

$$\frac{1515,57}{1000} < Tap < \frac{2020,76}{1000}$$
$$1,515 < Tap < 2,02$$

(range : 0,1 sampai 2,5 s dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,55

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,55 \times 1000 = 1550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$
$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$0,4 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{30010}{1550} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$TD = 0,544$$

$TD \geq 0,544$  , dipilih  $TD = 0,55$  (range 0,5-2,5 sdengan step 0,01 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{>} < 0,8 I_{sc \text{ min GI ASASHI}}$$

$$1,6 \times 1443,4 < I_{>} < 0,8 \times 15,73 \text{ kA}$$

$$2309,44 < I_{>} < 12584$$

$$\frac{2309,44}{1000} < \text{Tap} < \frac{12584}{1000}$$

$$2,309 < \text{Tap} < 12,584$$

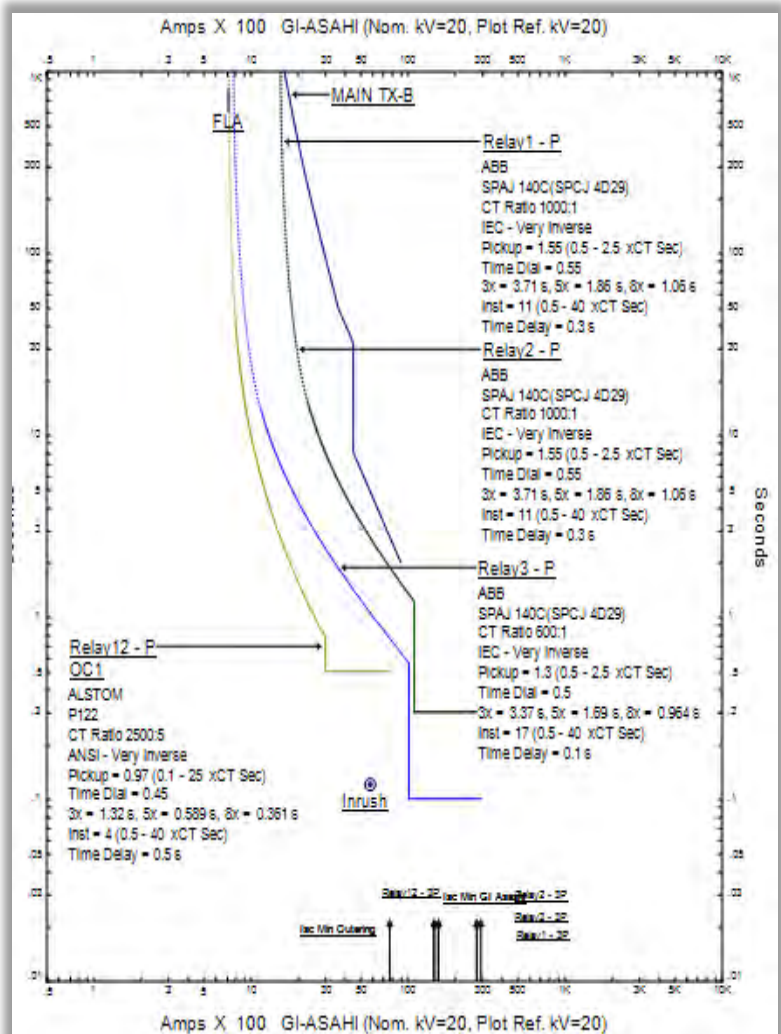
(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,01s)

Dipilih tap = 11

Iset = tap x I<sub>primer overcurrent</sub> = 11 x 1000 = 11000

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,3 s

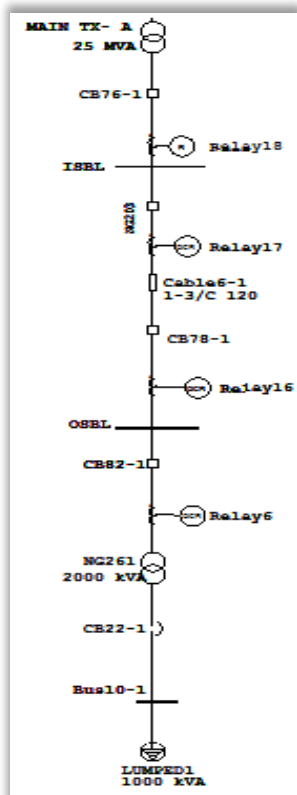


**Gambar 4.5** Kurva koordinasi setting tipikal 1B

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa hasil setting kurva koordinasi rele arus lebih tipikal 1B sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin.

#### 4.3.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 2

##### ➤ Tipikal 2A



Gambar 4.6 SLD tipikal 2A

#### **Relay 6**

<i>Manufacturer</i>	: GEC
<i>Model</i>	: CDG Extremely Inverse
FLA Trafo NG261	: 192,5 A
Isc min30 cycle bus OSBL	: 15,2 kA
Isc max bus 10-1	: 42,09 kA
Iscmax 1/2 cycle bus 10-1	: 47,84kA
<i>Curve Type</i>	: <i>ExtremelyInverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 200/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 192,5 < I_{set} < 1,4 \times 192,5$$

$$202,125 < I_{set} < 269,5$$

$$\frac{202,125}{200} \times 100\% < Tap < \frac{269,5}{200} \times 100\%$$

$$101,0625 \% < Tap < 134,75 \%$$

(range : 80 sampai 320%)

Dipilih tap = 120%

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 120\% \times 200 = 240 \text{ A}$$

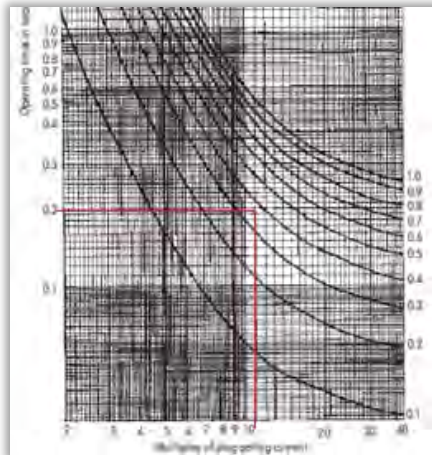
### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,2 s

Multiple of Tap Current Setting:

$$\frac{\frac{0,4}{6} \times I_{sc \text{ Max bus } 10} - 1}{I_{pickup}} = \frac{\frac{0,4}{6} \times 42090}{240} = 11,69$$

Dari gambar 4.7 dipilih time dial = 0,4 s



**Gambar 4.7** Kurva karakteristik rele CDG

### **Instantaneous Pickup**

$$\frac{0,4}{6} \times I_{sc \text{ Max }} \frac{1}{2} \text{ cycle bus } 10 - 1 < I_{\gg} < 0,8 I_{sc \text{ min OSBL}}$$

$$\frac{0,4}{6} \times 47840 < I_{\gg} < 0,8 \times 15,2 \text{ kA}$$

$$3189,33 < I_{\gg} < 12160$$

$$\frac{3189,33}{200} \times 100\% < \text{Tap} < \frac{12160}{200} \times 100\%$$

$$1594\% < \text{Tap} < 6080\%$$

(range : 400 sampai 1600% , dengan step 0,1s)

Dipilih tap = 1600 %

$$I_{\text{set}} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 1600\% \times 200 = 3200 \text{ A}$$

### **Relay 16**

*Manufacturer* : GEC

*Model* : CDG Extremely Inverse

FLA Kontribusi OSBL : 779,63 A

Isc min30 cycle bus OSBL : 15,2 kA

Isc max bus OSBL : 17,92 kA

*Curve Type* : *Extremely Inverse*

*CT Ratio* : 750/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 779,63 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 779,63$$

$$839,61 < I_{\text{set}} < 1119,48$$

$$\frac{839,61}{750} \times 100\% < \text{Tap} < \frac{1119,48}{750} \times 100\%$$

$$111,948\% < \text{Tap} < 149,264\%$$

(range : 80% sampai 320%, dengan pick up range 80-320%)

Dipilih tap = 120 %

$$I_{\text{set}} = \text{tap} \times N_{\text{CT primer}} = 120\% \times 750 = 900 \text{ A}$$

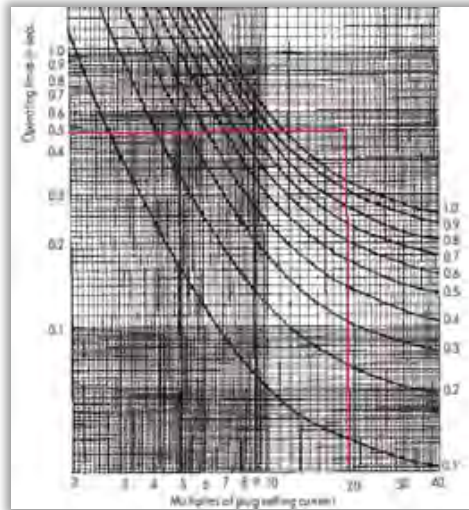
### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,5 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{\text{sc Max bus OSBL}}}{I_{\text{pickup}}} = \frac{17920}{900} = 19,91$$

Dari gambar 4.8 dipilih time dial = 1 s



**Gambar 4.8** Kurva karakteristik rele CDG

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{>} < 0,8 I_{sc \text{ min OSBL}}$$

$$1,6 \times 799,63 < I_{>} < 0,8 \times 15,2 K_a$$

$$1279,408 < I_{>} < 12160$$

$$\frac{1279,408}{750} \times 100 \% < Tap < \frac{12160}{750} \times 100 \%$$

$$170,58 \% < Tap < 1621,33$$

(range : 400 sampai 1600% , dengan step 0,1 s)

Dipilih tap = 1600 %

$$I_{set} = tap \times I_{\text{primer overcurrent}} = 1600 \% \times 750 = 12000 \text{ A}$$

### **Relay 17**

*Manufacturer*

: GEC

*Model*

: CDG Extremely Inverse

FLA Kontribusi OSBL

: 779,63 A

Isc min30 cycle bus ISBL

: 15,87Ka

Isc max bus ISBL

: 18,72 kA

*Curve Type*

: *Extremely Inverse*

*CT Ratio*

: 750/ 5

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 799,63 < I_{set} < 1,4 \times 799,63$$

$$839,61 < I_{set} < 1119,48$$

$$\frac{839,61}{750} \times 100 \% < Tap < \frac{1119,48}{750} \times 100 \%$$

$$111,948 \% < Tap < 149,264 \%$$

(range : 80% sampai 320 %, dengan pick up range 80-320%)

Dipilih tap = 120 %

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 120\% \times 750 = 900 \text{ A}$$

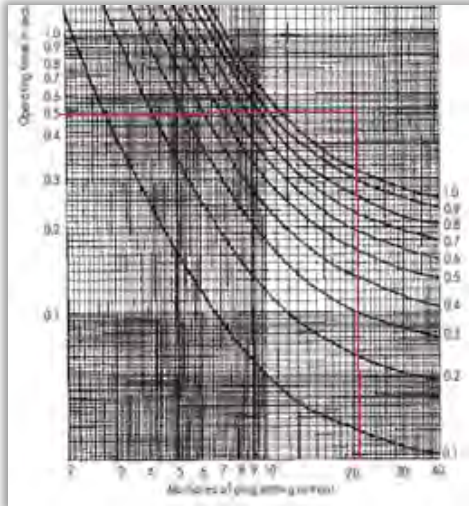
### Time Dial

Waktu operasi = 0,5 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{sc \text{ Max bus ISBL}}}{I_{pickup}} = \frac{18720}{900} = 20,8$$

Dari gambar 4.9 dipilih time dial = 1 s



**Gambar 4.9** Kurva karakteristik rele CDG

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 I_{sc \text{ min ISBL}}$$



$$1,6 \times 799,63 < I_{>>} < 0,8 \times 15,87 \text{ kA}$$

$$1279,408 < I_{>>} < 12696$$

$$\frac{1279,408}{750} \times 100 \% < \text{Tap} < \frac{12696}{750} \times 100 \%$$

$$170,58 \% < \text{Tap} < 1692,8$$

(range : 400 sampai 1600% , dengan step 0,1 s)

Dipilih tap = 1600 %

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 1600 \% \times 750 = 12000 \text{ A}$$

### **Relay 18**

*Manufacturer* : Alstom

*Model* : P122

FLA Sekunder Trafo Main TX A : 2291 A

Isc min30 cycle bus ISBL : 15,87 kA

Isc max bus ISBL : 18,72 kA

*Curve Type* : ANSI - *Extremely Inverse*

*CT Ratio* : 2500/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 2291 < I_{set} < 1,4 \times 2291$$

$$2405,55 < I_{set} < 3207,4$$

$$\frac{2405,55}{2500} < \text{Tap} < \frac{3207,4}{2500}$$

$$0,962 < \text{Tap} < 1,282$$

(range : 0,1 sampai 25 s, dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 0,97

$$I_{set} = \text{tap} \times N_{CT \text{ primer}} = 0,97 \times 2500 = 2425$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,8s

$$t = \left( \frac{28,2}{(M^2) - 1} + 0,1215 \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{28,2}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,1215 \right) * TD$$

$$0,8 = \left( \frac{28,2}{\left( \left( \frac{18720}{2425} \right)^2 - 1 \right)} + 0,1215 \right) * TD$$

$$TD = 1,16$$

$TD \geq 1,16$  dipilih  $TD = 1,2$  (range 0,025-1,5 dengan step 0,025 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 I_{sc} \text{ min ISBL}$$

$$1,6 \times 2291 < I_{\gg} < 0,8 \times 15,87 \text{ kA}$$

$$3665,6 < I_{\gg} < 12696$$

$$\frac{3665,6}{2500} < Tap < \frac{12696}{2500}$$

$$1,466 < Tap < 5,07$$

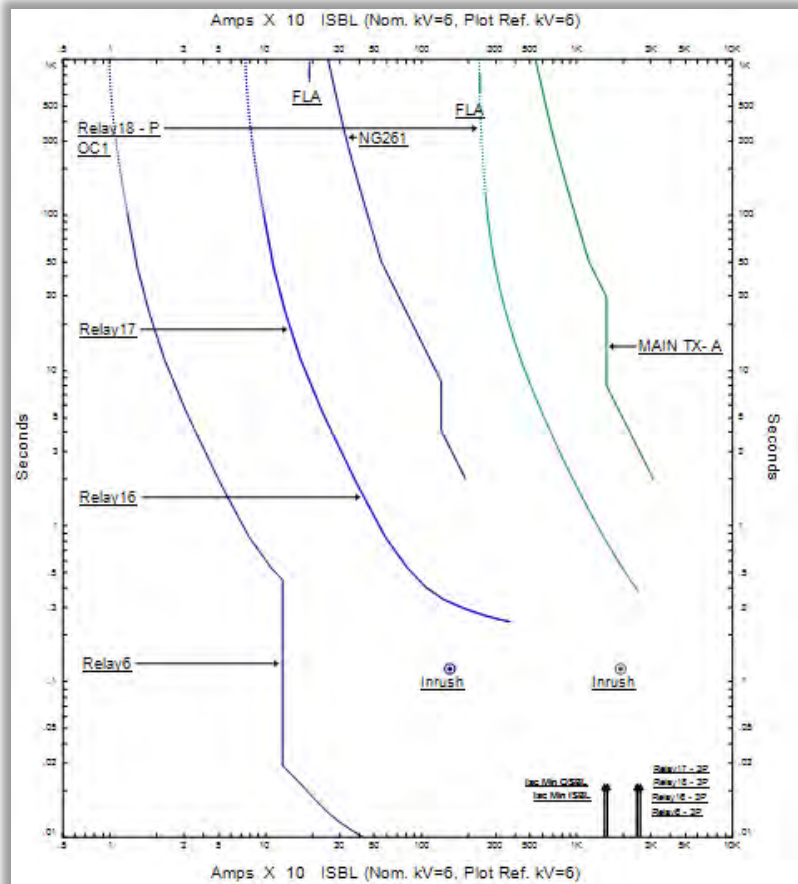
(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 5

$$I_{set} = tap \times I_{\text{primer overcurrent}} = 5 \times 2500 = 12500$$

### **Time Delay**

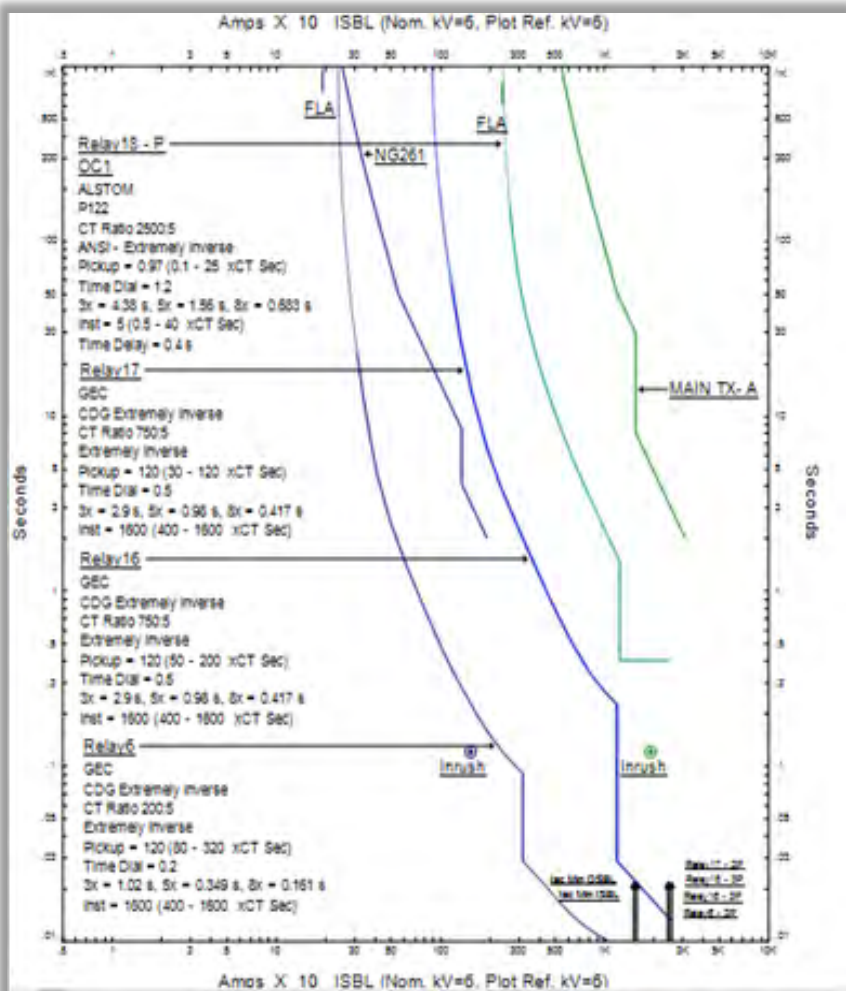
Waktu operasi = 0,4 s



**Gambar 4.10** Kurva eksisting tipikal 2A

Dari gambar 4.10 kurva koordinasi eksisting tipikal 2A dapat dilihat terdapat koordinasi proteksi yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan resetting pada rele. Berikut merupakan keterangannya :

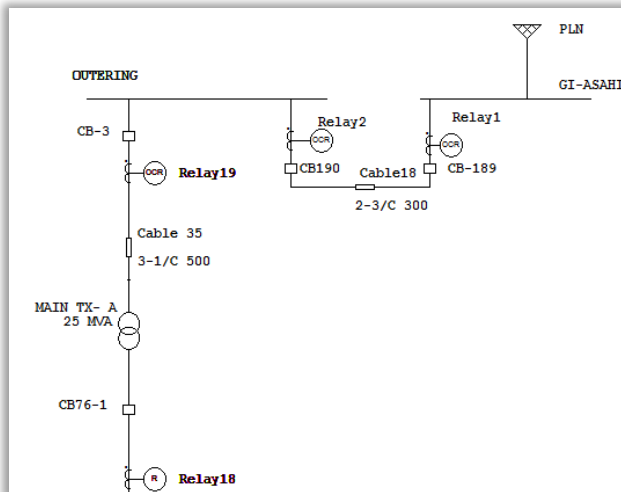
- Pada rele 6, rele 16, dan rele 17 terlihat bahwa kurva rele berada sangat jauh dari FLA saat beban penuh trafo sehingga ketiga rele saat terjadi beban penuh, akan trip dan tidak dapat melindungi trafo.



**Gambar 4.11** Kurva resetting tipikal 2A

Dari gambar 4.11 terlihat bahwa resetting rele arus lebih pada tipikal 2A sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

➤ **Tipikal 2B**



**Gambar 4.12** Single line diagram tipikal 2B

**Relay 19**

Manufacturer	: ABB
Model	: SPAJC 140C
FLA Primer Trafo Main TX A	: 721,7 A
Isc min30 cycle bus OUTERING	: 14,74kA
Isc max OUTERING	: 18,11 kA
Iscmax 1/2 cycle busISBL	: 30,15 kA
Curve Type	: Very Inverse
CT Ratio	: 600/1

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 721,7 < I_{set} < 1,4 \times 721,7$$

$$757,78 < I_{set} < 1010,38$$

$$\frac{757,78}{600} < Tap < \frac{1010,38}{600}$$

$$1,26 < Tap < 1,68$$

(range : 0,5 sampai 2,5s, dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,3

$$I_{set} = \text{tap} \times N_{CT \text{ primer}} = 1,3 \times 600 = 780$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$0,2 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{18110}{780} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$TD = 0,32$$

$TD \geq 0,32$  , dipilih  $TD = 0,8$  (range 0,5-40 sdengan step 0,1 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$\frac{6,3}{20} I_{sc \max} \frac{1}{2} \text{ cycle } ISBL < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \min} \text{ OUTERING}$$

$$0,315 \times 30150 \text{ kA} < I_{\gg} < 0,8 \times 14740$$

$$9497,25 < I_{\gg} < 11792$$

$$\frac{9497,25}{600} < \text{Tap} < \frac{11792}{600}$$

$$15,828 < \text{Tap} < 19,653$$

(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,1s)

Dipilih tap = 17

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 17 \times 600 = 10200$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,1

### **Relay 2**

<i>Manufacturer</i>	: ABB
<i>Model</i>	: SPAJC 140C
FLA Kontribusi OUTERING	: 1443,4 A
Isc min30 cycle bus OUTERING	: 14,74 kA
Isc max bus OUTERING	: 27,57 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000/1

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1443,4 < I_{set} < 1,4 \times 1443,4$$

$$1515,57 < I_{set} < 2020,76$$

$$\frac{1515,57}{1000} < Tap < \frac{2020,76}{1000}$$
$$1,515 < Tap < 2,02$$

(range : 0,1 sampai 2,5 s dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,55

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,55 \times 1000 = 1550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$
$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$0,4 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{27570}{1550} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$
$$TD = 0,497$$

$TD \geq 0,497$  , dipilih  $TD = 0,55$  (range 0,5-2,5 s dengan step 0,01 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min OUTERING}}$$

$$1,6 \times 1443,4 < I_{set} < 0,8 \times 14,74 \text{ kA}$$

$$2309,44 < I_{set} < 11792$$

$$\frac{2309,44}{1000} < Tap < \frac{11792}{1000}$$
$$2,309 < Tap < 11,792$$

(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,01s)

Dipilih tap = 11

$$I_{set} = tap \times I_{\text{primer overcurrent}} = 11 \times 1000 = 11000$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,3 s

### **Relay 1**

*Manufacturer* : ABB  
*Model* : SPAJC 140C  
 FLA Kontribusi OUTERING : 1443,4 A  
 Isc min30 cycle bus GI ASASHI : 15,73 kA  
 Isc max bus GI ASASHI : 30,01 kA  
*Curve Type* : *Very Inverse*  
*CT Ratio* : 1000/1

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1443,4 < I_{set} < 1,4 \times 1443,4$$

$$1515,57 < I_{set} < 2020,76$$

$$\frac{1515,57}{1000} < Tap < \frac{2020,76}{1000}$$

$$1,515 < Tap < 2,02$$

(range : 0,1 sampai 2,5 s dengan steps 0,01s)

Dipilih tap = 1,55

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ primer}} = 1,55 \times 1000 = 1550$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$0,4 = \left( \frac{13,5}{\left( \left( \frac{30010}{1550} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$TD = 0,544$$

$TD \geq 0,544$  , dipilih  $TD = 0,55$  (range 0,5-2,5 sdengan step 0,01 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \text{ Isc min GI ASASHI}$$

$$1,6 \times 1443,4 < I_{\gg} < 0,8 \times 15,73 \text{ kA}$$



$$2309,44 < I_{\gg} < 12584$$

$$\frac{2309,44}{1000} < \text{Tap} < \frac{12584}{1000}$$

$$2,309 < \text{Tap} < 12,584$$

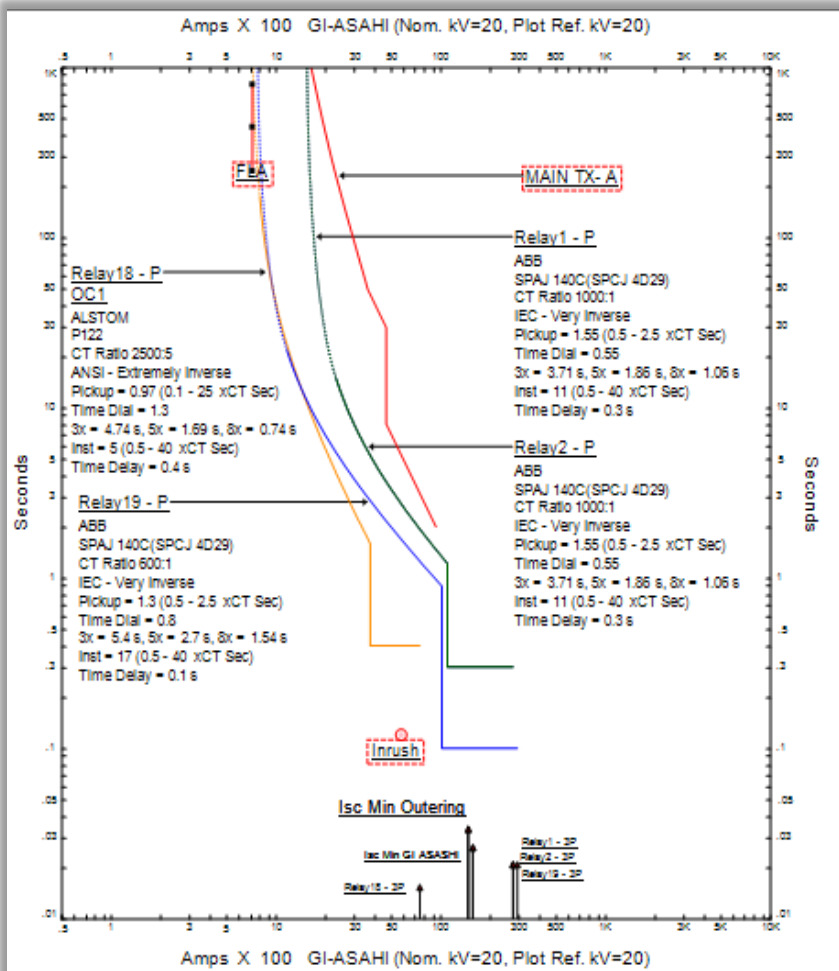
(range : 0,5 sampai 40s, dengan step 0,01s)

Dipilih tap = 11

$$I_{\text{set}} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 11 \times 1000 = 11000$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,3 s

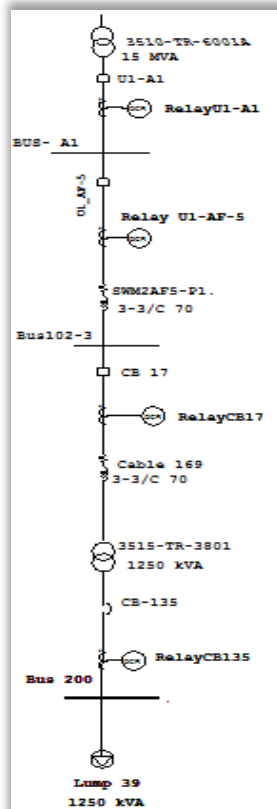


**Gambar 4.13** Kurva koordinasi setting tipikal 2B

Dari gambar 4.13 terlihat bahwa setting rele arus lebih sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

### 4.3.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 3

#### ➤ Tipikal 3A



Gambar 4.14 SLD tipikal 3A

#### Relay CB135

*Manufacturer*

: Toshiba

*Model*

: IC03

FLA Lump 39

: 1899 A

Isc min30 cycle bus 200

: 23,23kA

Isc max bus 200

: 26,88 kA

*Curve Type*

: Very Inverse

*CT Ratio*

: 2000 / 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1899 < I_{set} < 1,4 \times 1899$$

$$1993,95 < I_{set} < 2658,6$$

$$\frac{1993,95}{\frac{2000}{5}} < Tap < \frac{2658,6}{\frac{2000}{5}}$$
$$4,98 < Tap < 6,64$$

(range : 1,5 sampai 6 s)

Dipilih tap = 5

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 5 \times \frac{2000}{5} = 2000$$

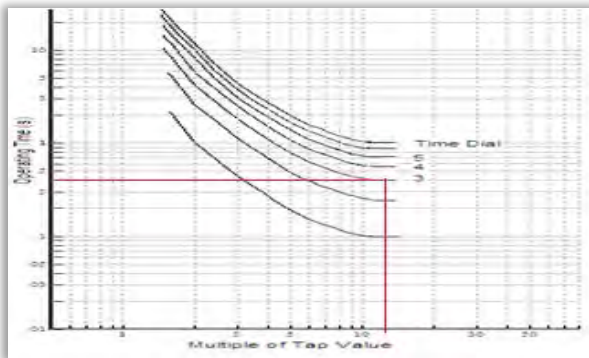
### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,4 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{sc \text{ Max bus 200}}}{I_{pickup}} = \frac{26880}{2000} = 13,44$$

Dari gambar 4.15 dipilih time dial = 3 s



**Gambar 4.15** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min Bus 200}}$$

$$1,6 \times 1899 < I_{set} < 0,8 \times 23,23 \text{ kA}$$

$$3038,4 < I_{set} < 18584$$

$$\frac{3038,4}{\frac{2000}{5}} < \text{Tap} < \frac{18584}{\frac{2000}{5}}$$

$$7,596 < \text{Tap} < 44,46$$

(range : 10 sampai 40s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 15

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{sekunder overcurrent}} = 15 \times \frac{2000}{5} = 6000$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,3 s

### **Relay CB17**

*Manufacturer* : Toshiba

*Model* : IC03F

FLA Primer Trafo 3515-TR-3801 : 120,3A

Isc min30 cycle bus 102-3 : 11,78 kA

Isc max bus 200 : 26,88 kA

Isc max  $\frac{1}{2}$  cycle bus 200 : 35,31 kA

*Curve Type* : *Very Inverse*

*CT Ratio* : 200 / 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 120,3 < I_{set} < 1,4 \times 120,3$$

$$126,315 < I_{set} < 168,42$$

$$\frac{126,315}{\frac{200}{5}} < \text{Tap} < \frac{168,42}{\frac{200}{5}}$$

$$3,15 < \text{Tap} < 4,2105$$

(range : 2 sampai 8 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = \text{tap} \times N_{CT \text{ sekunder}} = 4 \times \frac{200}{5} = 160$$

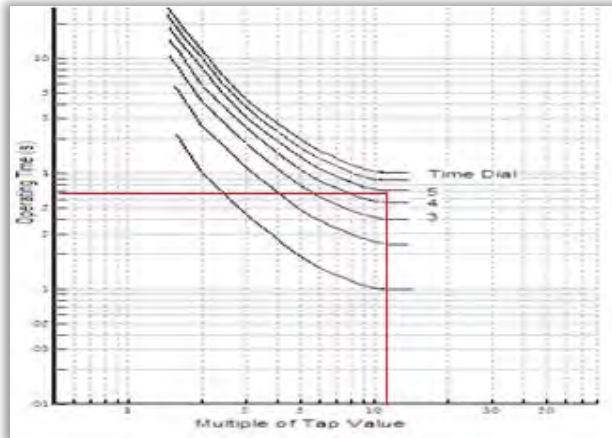
### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,7 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{\frac{0,4}{6} \times I_{sc} \text{ Max bus 200}}{I_{pickup}} = \frac{\frac{0,4}{6} \times 26880}{160} = 11,2$$

Dari gambar 4.16 dipilih time dial = 5 s



**Gambar 4.16** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$\frac{0,4}{6} \times I_{sc} \text{ Max } 1/2 \text{ cycle bus 200} < I_{\gg} < 0,8 I_{sc} \text{ min } 102 - 3$$

$$\frac{0,4}{6} \times 35310 < I_{\gg} < 0,8 \times 11780$$

$$2354 < I_{\gg} < 9424$$

$$\frac{2354}{\frac{200}{5}} < \text{Tap} < \frac{9424}{\frac{200}{5}}$$

$$58,85 < \text{Tap} < 235,6$$

(range : 20 sampai 80 , dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 60

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{sekunder overcurrent}} = 60 \times \frac{200}{5} = 2400 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,1 s

**Relay U1-AF-5**

<i>Manufacturer</i>	: Toshiba
<i>Model</i>	: ICO3
FLA Kontribusi Bus 102-3	: 162,08 A
Isc min30 cycle bus A-1	: 12 kA
Isc max bus A-1	: 14,09 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 300 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 162,08 < I_{set} < 1,4 \times 162,08$$

$$170,184 < I_{set} < 226,912$$

$$\frac{170,184}{\frac{300}{5}} < Tap < \frac{226,912}{\frac{300}{5}}$$

$$2,8364 < Tap < 3,78$$

(range : 1,5 sampai 6 s)

Dipilih tap = 3

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 3 \times \frac{300}{5} = 180$$

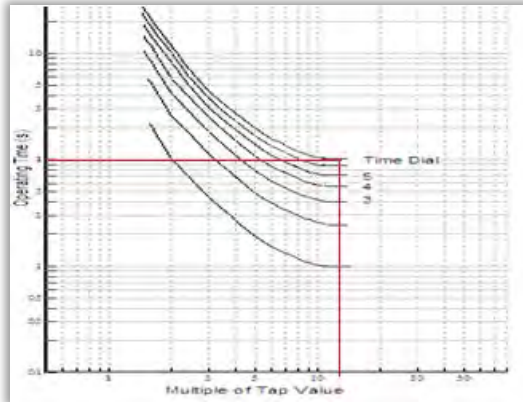
**Time Dial**

Waktu operasi = 1 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{scMaxbusA} - 1}{I_{pickup}} = \frac{14090}{180} = 13,44$$

Dari gambar 4.17 dipilih time dial = 7 s



**Gambar 4.17** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\gg} < 0,8 \text{ Isc min Bus A} - 1$$

$$1,6 \times 162,08 < I_{\gg} < 0,8 \times 12 \text{ kA}$$

$$259,328 < I_{\gg} < 9600$$

$$\frac{259,328}{\frac{300}{5}} < \text{Tap} < \frac{9600}{\frac{300}{5}}$$

$$4,32 < \text{Tap} < 160$$

(range : 20 sampai 80s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 55

$$\text{Iset} = \text{tap} \times I_{\text{sekunder overcurrent}} = 55 \times \frac{300}{5} = 3300$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,4 s

### **Relay U1-A1**

*Manufacturer* : Toshiba

*Model* : IC03

FLA Sekunder Trafo 3510-TR-6001: 1375 A

Isc Min 30 cycle bus A-1 : 12 kA

Isc Max bus A-1 : 14,09 kA

*Curve Type* : Very Inverse

*CT Ratio* : 2000 / 5



### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1375 < I_{set} < 1,4 \times 1375$$

$$1443,75 < I_{set} < 1925$$

$$\frac{1443,75}{\frac{2000}{5}} < Tap < \frac{1925}{\frac{2000}{5}}$$
$$3,609 < Tap < 4,812$$

(range : 2 sampai 8 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 4 \times \frac{2000}{5} = 1600$$

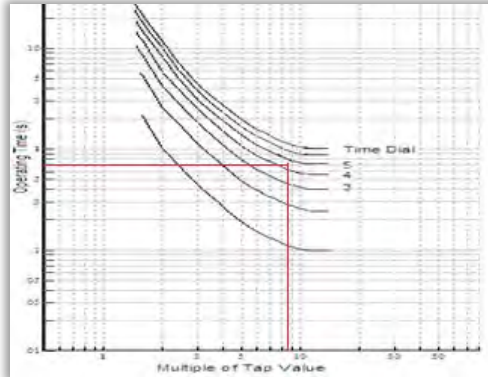
### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,7 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{scMaxbusA} - 1}{I_{pickup}} = \frac{14090}{1600} = 8,8$$

Dari gambar 4.18 dipilih time dial = 5 s



**Gambar 4.18** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 FLA < I_{>} < 0,8 I_{sc \text{ min Bus A} - 1}$$

$$1,6 \times 1375 < I_{>} < 0,8 \times 12kA$$

$$2200 < I_{>} < 9600$$

$$\frac{2200}{\frac{2000}{5}} < \text{Tap} < \frac{9600}{\frac{2000}{5}}$$

$$5,5 < \text{Tap} < 24$$

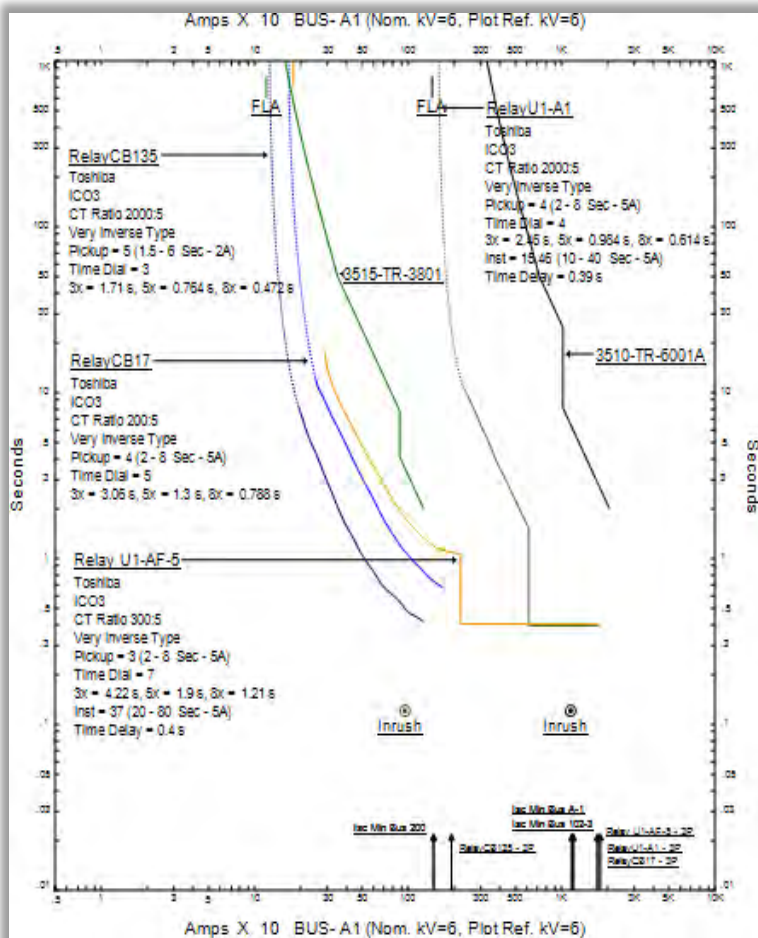
(range : 10 sampai 40s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 16

$$\text{Iset} = \text{tap} \times \text{I}_{\text{sekunder overcurrent}} = 16 \times \frac{2000}{5} = 6400$$

### **Time Delay**

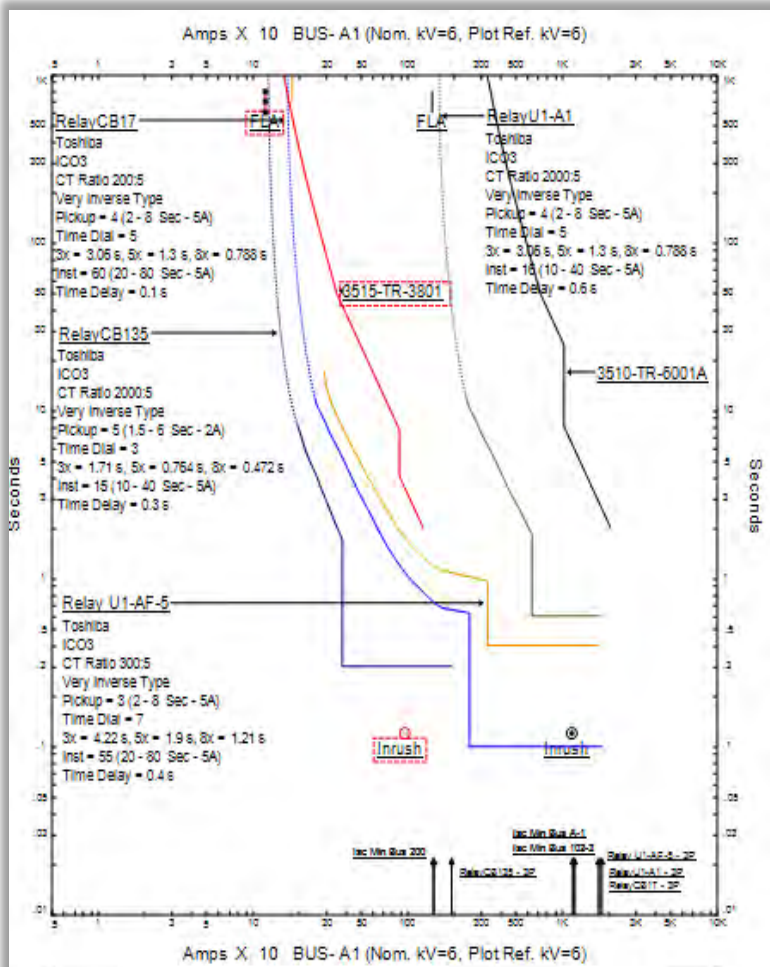
Waktu operasi = 0,6 s



**Gambar 4.19** Kurva koordinasi eksisting tipikal 3A

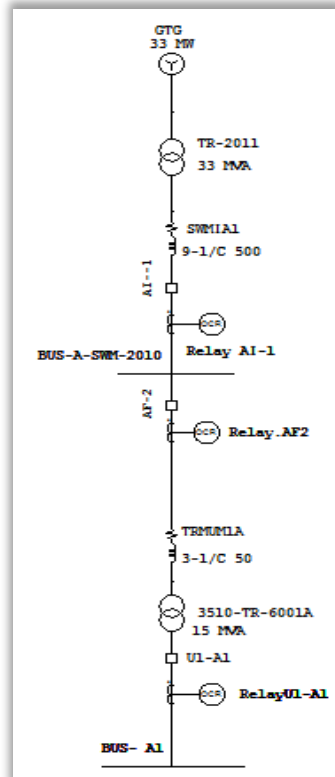
Dari gambar 4.19 kurva koordinasi eksisting tipikal 3A dapat dilihat bahwa:

- Pada rele CB 135 dan rele CB 17 setting instan tidak diaktifkan sehingga tidak dapat melindungi trafo dari short circuit
- Pada rele U1-A1 perlu dilakukan setting time delay sesuai dengan standar grading time IEEE 242 yaitu 0.2 s - 0.4 s



Dari gambar 4.20 terlihat bahwa resetting rele arus lebih sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

➤ **Tipikal 3 B**



**Gambar 4.21** SLD tipikal 3B

**Relay AF-2**

<i>Manufacturer</i>	: Toshiba
<i>Model</i>	: ICO3
FLA Primer Trafo 3510-TR-6001	: 433 A
Isc min30 cycle bus A-SWM-2010	: 15,52 kA
Isc max bus A-1	: 14,09 kA
Iscmax 1/2 cycle bus A-1	: 19,88 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 600/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 433 < I_{set} < 1,4 \times 433$$

$$454,65 < I_{set} < 606,2$$

$$\frac{454,65}{\frac{600}{5}} < Tap < \frac{606,2}{\frac{600}{5}}$$
$$3,78 < Tap < 5,05$$

(range : 2 sampai 8 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 4 \times \frac{600}{5} = 480$$

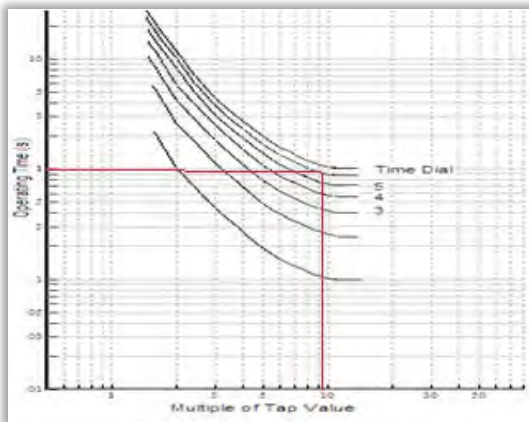
### **Time Dial**

Waktu operasi = 1 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{\frac{6,3}{20} \times I_{sc \text{ Max } 30 \text{ cycle bus A}} - 1}{I_{pickup}} = \frac{\frac{6,3}{20} \times 14090}{480} = 9,24$$

Dari gambar 4.22 dipilih time dial = 7 s



**Gambar 4.22** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$\frac{6,3}{20} \times I_{sc \text{ Max } 1/2 \text{ cycle bus A}} - 1 < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min A}} - SWM$$

$$\frac{6,3}{20} \times 19880 < I_{>>} < 0,8 \times 15,52 \text{ kA}$$

$$6262,2 < I_{>>} < 12416$$

$$\frac{6262,2}{\frac{600}{5}} < \text{Tap} < \frac{12416}{\frac{600}{5}}$$

$$52,185 < \text{Tap} < 103,4$$

(range : 20 sampai 80 , dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 55

$$I_{\text{set}} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 55 \times \frac{600}{5} = 6600 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Waktu Operasi = 0,1 s

### **Relay AI-1**

<i>Manufacturer</i>	: Toshiba
<i>Model</i>	: TC023
FLA Sekunder Trafo TR-2011	: 952,6 A
Isc Min Kontribusi A-I-1	: 3,28 kA
Isc max bus A-SWM-2010	: 19,17 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1500/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 952,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 952,6$$

$$1000,23 < I_{\text{set}} < 1333,64$$

$$\frac{1000,23}{\frac{1500}{5}} < \text{Tap} < \frac{1333,64}{\frac{1500}{5}}$$

$$3,33 < \text{Tap} < 4,44$$

(range : 2 sampai 18 s)

Dipilih tap = 3,5

$$I_{\text{set}} = \text{tap} \times N_{\text{CT sekunder}} = 3,5 \times \frac{1500}{5} = 1050$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,5 s

$$t = \left( \frac{80}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{80}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$0,5 = \left( \frac{80}{\left( \left( \frac{19170}{1050} \right)^1 \right) - 1} \right) * TD$$

$$TD = 0,1$$

$TD \geq 0,1$  , dipilih  $TD = 0,5$  (range 0,1-1 sdengan step 0,005 s)

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \text{ FLA} < I_{\gg} < 0,8 \text{ Isc Kontribusi A} - I - 1$

$1,6 \times 952,6 < I_{\gg} < 0,8 \times 3,28 \text{ kA}$

$1524,16 < I_{\gg} < 2624$

$$\frac{1524,16}{\frac{1500}{5}} < \text{Tap} < \frac{2624}{\frac{1500}{5}}$$

$$5,08 < \text{Tap} < 8,74$$

(range : 1 sampai 10 , dengan step 1 s)

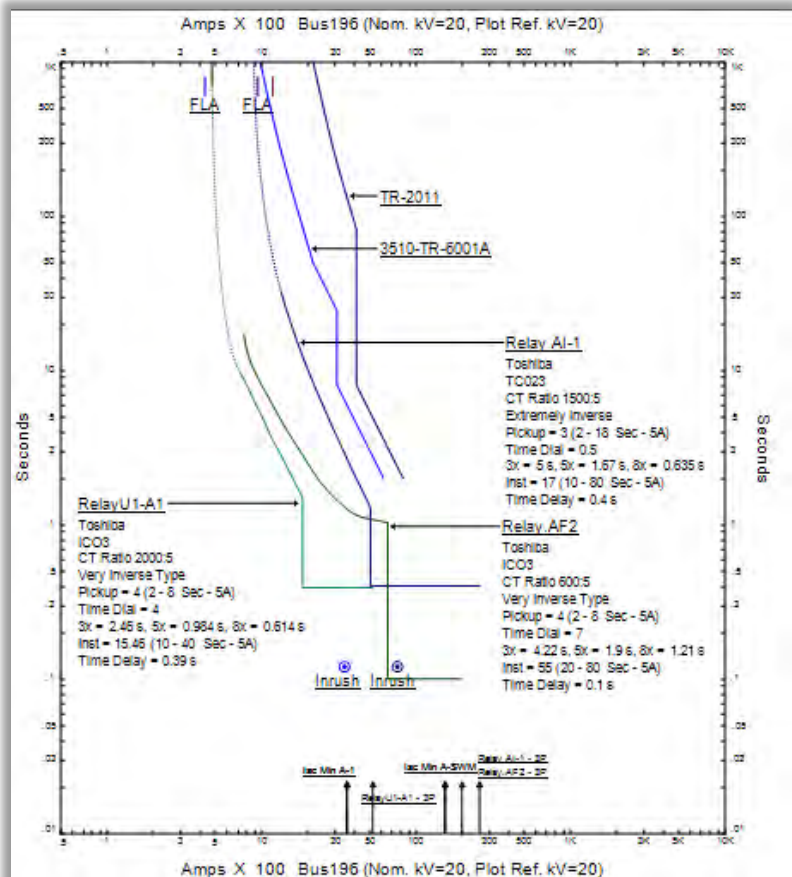
Dipilih tap = 8

$$\text{Iset} = \text{tap} \times I_{\text{sekunder overcurrent}} = 8 \times \frac{1500}{5} = 2400 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Waktu Operasi = 0,4 s

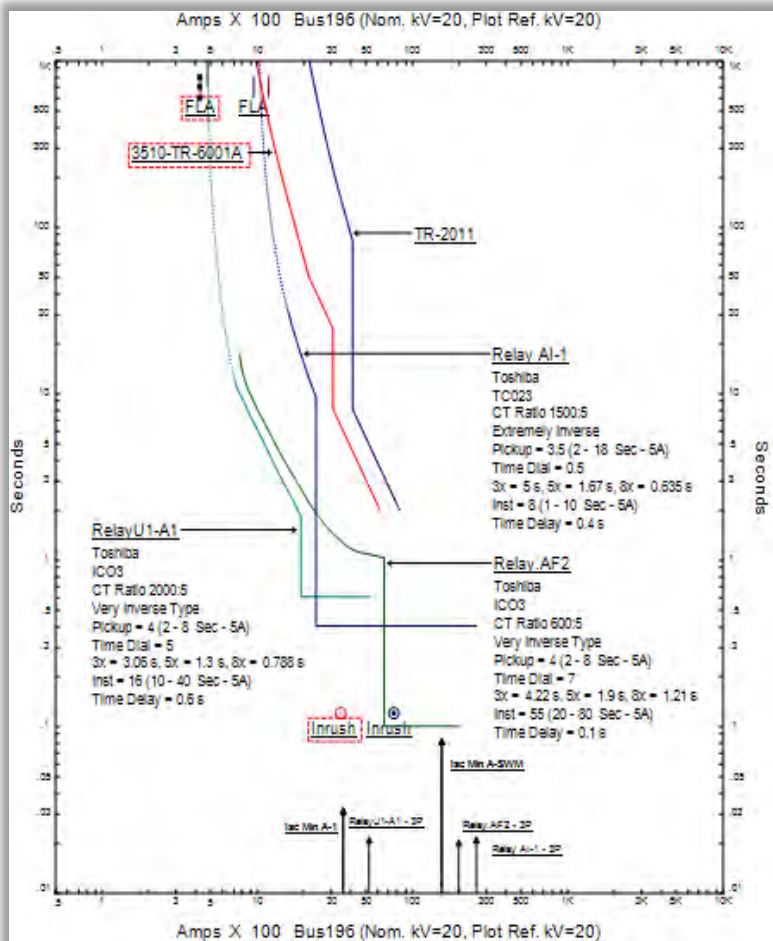




**Gambar 4.23** Kurva koordinasi eksisting tipikal 3B

Dari gambar 4.23 kurva koordinasi eksisting tipikal 3B dapat dilihat terdapat koordinasi proteksi yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan reseting pada rele. Berikut merupakan keterangannya :

- Pada Relay AI-1 terlihat bahwa kurva rele AI-1 dibawah FLA, sehingga rele tersebut tidak bisa melindungi peralatan karena rele tersebut akan bekerja saat beban penuh
- Pada Relay U1-A1 time delay tidak sesuai standar grading time IEEE 242 yaitu 0.2s -0.4s

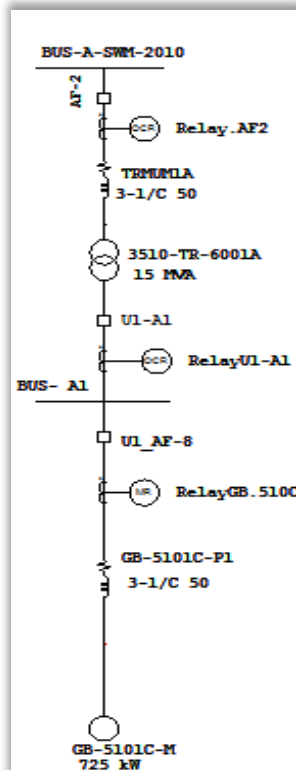


**Gambar 4.24** Kurva koordinasi resetting tipikal 3B

Dari gambar 4.24 terlihat bahwa resetting rele arus lebih sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

#### 4.3.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Tipikal 4

➤ Tipikal 4A



Gambar 4.25 SLD tipikal 4A

#### Relay GB 510 C

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 369
FLA Motor GB-510-C	: 80,72 A
Isc Min 30 cycle bus A-1	: 12 kA
Isc Max bus A-1	: 29,84 kA
<i>Curve Type</i>	: Standard
<i>CT Ratio</i>	: 100/ 5

### **Overload Pickup**

Range = 1,01 sampai 1,25 x FLA, dengan steps 0,01

Dipilih = 1,1 x FLA

Pick up = 1,1 x 80,72 = 88,792

$$\text{Tap} = \frac{88,792}{\frac{100}{5}} = 4,43$$

### **Curve Multiplier**

Waktu operasi = 9s

$$t = \frac{\text{Curve Multiplier} \times 2,2116623}{0,02530337 \times (\text{Pick up} - 1)^2 + 0,05054758 \times (\text{Pick up} - 1)^1}$$
$$t = \left( \frac{\text{Curve Multiplier} \times 2,2116623}{0,02530337 \times (4,43 - 1)^2 + 0,05054758 \times (4,43 - 1)} \right)$$
$$9 = \left( \frac{\text{Curve Multiplier} \times 2,2116623}{0,02530337 \times (3,34)^2 + 0,05054758 \times (3,34)} \right)$$
$$\text{Curve Multiplier} = 1,9$$

Curve Multiplier  $\geq 1,9$  dipilih Curve Multiplier = 2

(range 1-15 sdengan step 1 s)

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \text{ Isc min bus A} - 1$

$1,6 \times 80,72 < I_{\gg} < 0,8 \times 12\text{kA}$

$129,152 < I_{\gg} < 9600$

$$\frac{129,152}{100} < \text{Tap} < \frac{9600}{100}$$
$$1,29 < \text{Tap} < 9,6$$

(range : 2 sampai 20s, dengan step 0,1 s)

Dipilih tap = 6

Iset = tap x I primer overcurrent = 6 x 100 = 600

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,1 s

### **Relay U1-A1**

Manufacturer : Toshiba

Model : IC03

FLA Sekunder Trafo 3510-TR-6001: 1375 A

Isc Min 30 cycle bus A-1 : 12 kA

Isc Max bus A-1 : 17,61 kA

Isc Max 30 cycle bus A-1 : 14,09 kA  
 Curve Type : Very Inverse  
 CT Ratio : 2000 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1375 < I_{set} < 1,4 \times 1375$$

$$1443,75 < I_{set} < 1925$$

$$\frac{1443,75}{\frac{2000}{5}} < Tap < \frac{1925}{\frac{2000}{5}}$$

$$3,609 < Tap < 4,812$$

(range : 2 sampai 8 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 4 \times \frac{2000}{5} = 1600$$

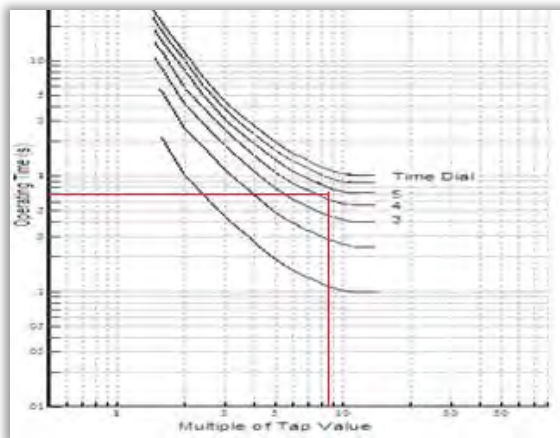
**Time Dial**

Waktu operasi = 0,7 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{I_{scMaxbusA} - 1}{I_{pickup}} = \frac{14090}{1600} = 8,8$$

Dari Gambar 4.26 dipilih time dial = 5s



**Gambar 4.26** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\gg} < 0,8 \text{ Isc min Bus A} - 1$$

$$1,6 \times 1375 < I_{\gg} < 0,8 \times 12 \text{ kA}$$

$$2200 < I_{\gg} < 9600$$

$$\frac{2200}{\frac{2000}{5}} < \text{Tap} < \frac{9600}{\frac{2000}{5}}$$
$$5,5 < \text{Tap} < 24$$

(range : 10 sampai 40s, dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 16

$$\text{Iset} = \text{tap} \times \text{I}_{\text{sekunder overcurrent}} = 16 \times \frac{2000}{5} = 6400$$

### **Time Delay**

Waktu operasi = 0,6 s

### **Relay AF-2**

*Manufacturer* : Toshiba

*Model* : ICO3

FLA Primer Trafo 3510-TR-6001 : 433 A

Iscmin30 cycle bus A-SWM-2010 : 15,52 kA

Isc max bus A-1 : 14,09 kA

Iscmax 1/2 cycle bus A-1 : 19,88 kA

*Curve Type* : *Very Inverse*

*CT Ratio* : 600/ 5

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 433 < \text{Iset} < 1,4 \times 433$$

$$454,65 < \text{Iset} < 606,2$$

$$\frac{454,65}{\frac{600}{5}} < \text{Tap} < \frac{606,2}{\frac{600}{5}}$$
$$3,78 < \text{Tap} < 5,05$$

(range : 2 sampai 8 s)

Dipilih tap = 4

$$\text{Iset} = \text{tap} \times \text{N}_{\text{CT sekunder}} = 4 \times \frac{600}{5} = 480$$

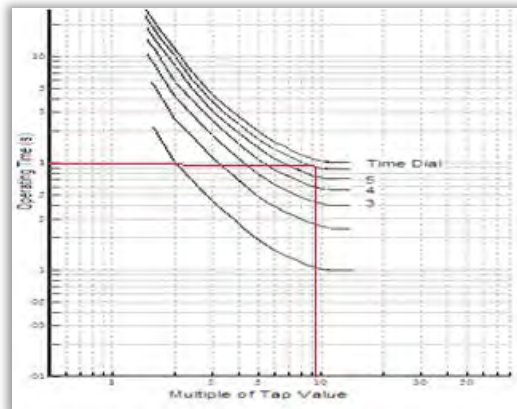
### Time Dial

Waktu operasi = 1 s

Multiple of Tap Current Setting :

$$\frac{\frac{6,3}{20} \times I_{sc} \text{ Max } 30 \text{ cycle busA} - 1}{I_{pickup}} = \frac{\frac{6,3}{20} \times 14090}{480} = 9,24$$

Dari gambar 4.27 dipilih time dial = 7 s



**Gambar 4.27** Kurva karakteristik rele Toshiba IC03

### Instantaneous Pickup

$$\frac{6,3}{20} \times I_{sc} \text{ Max } \frac{1}{2} \text{ cycle bus A} - 1 < I_{set} < 0,8 I_{sc} \text{ min A} - SWM$$

$$\frac{6,3}{20} \times 19880 < I_{set} < 0,8 \times 15,52 \text{ kA}$$

$$6262,2 < I_{set} < 12416$$

$$\frac{6262,2}{\frac{600}{5}} < \text{Tap} < \frac{12416}{\frac{600}{5}}$$

$$52,185 < \text{Tap} < 103,4$$

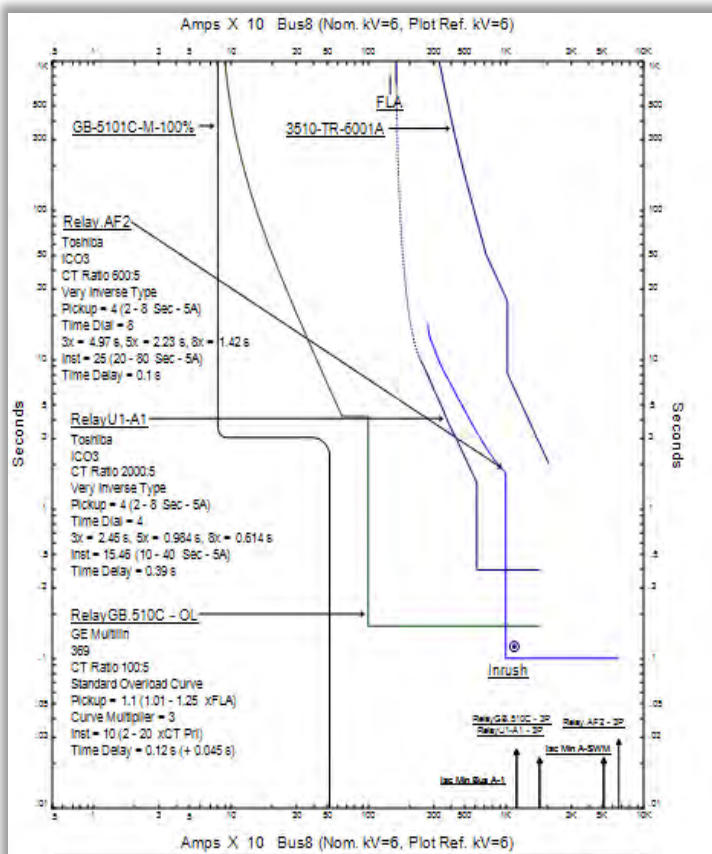
(range : 20 sampai 80 , dengan step 0,01 s)

Dipilih tap = 55

$$I_{set} = \text{tap} \times I_{\text{primer overcurrent}} = 55 \times \frac{600}{5} = 6600 \text{ A}$$

### Time Delay

Waktu Operasi = 0,1 s

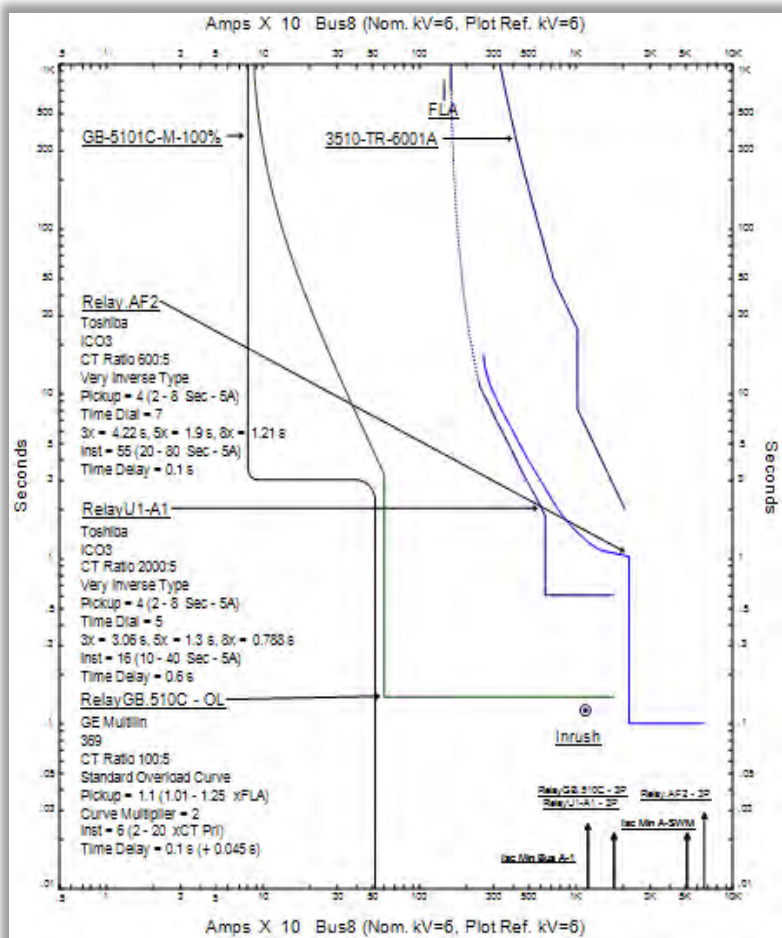


**Gambar 4.28** Kurva koordinasi eksisting tipikal 4A

Dari gambar 4.28 kurva koordinasi eksisting tipikal 4A dapat dilihat terdapat koordinasi proteksi yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan resetting pada rele, yaitu:

- Pada Rele U1-A1 time delay tidak sesuai standar grading time IEEE 242 yaitu 0.2s - 0.4s
- Rele GB-510-C setting rele sudah cukup bagus tetapi masih dapat disetting agar lebih peka terhadap gangguan

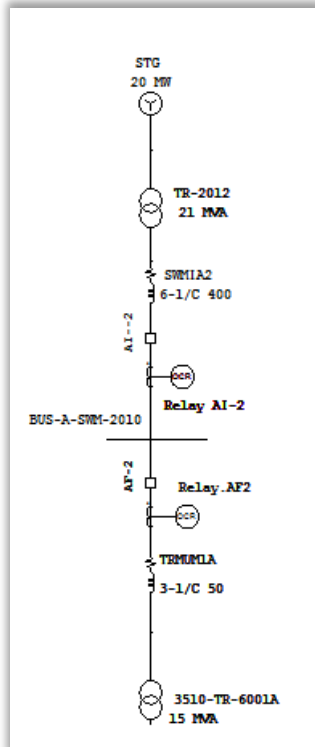




**Gambar 4.29** Kurva koordinasi resetting tipikal 4A

Dari gambar 4.29 terlihat bahwa resetting rele arus lebih sensitivitasnya lebih peka dan sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

➤ **Tipikal 4 B**



**Gambar 4.30** SLD tipikal 4B

**Relay AI-2**

<i>Manufacturer</i>	: Toshiba
<i>Model</i>	: TC023
FLA Sekunder Trafo TR-2012	: 606,2 A
Isc Min Kontribusi A-I-2	: 2,01 kA
Isc max bus A-SWM-2010	: 19,17 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000/ 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 606,2 < I_{set} < 1,4 \times 606,2$$

$$636,51 < I_{set} < 848,68$$

$$\frac{636,51}{\frac{1000}{5}} < Tap < \frac{848,68}{\frac{1000}{5}}$$

$$3,18 < Tap < 4,24$$

(range : 2 sampai 18 s)

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = tap \times N_{CT \text{ sekunder}} = 4 \times \frac{1000}{5} = 800$$

### **Time Dial**

Waktu operasi = 0,5 s

$$t = \left( \frac{80}{(M^1) - 1} \right) * TD$$

$$t = \left( \frac{80}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$0,5 = \left( \frac{80}{\left( \left( \frac{19170}{800} \right)^1 - 1 \right)} \right) * TD$$

$$TD = 0,14$$

$TD \geq 0,14$  , dipilih  $TD = 0,5$  (range 0,1-1 sdengan step 0,005 s)

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc} \text{ Kontribusi A - I - 2}$$

$$1,6 \times 606,2 < I_{set} < 0,8 \times 2,01 \text{ kA}$$

$$969,92 < I_{set} < 1608$$

$$\frac{969,92}{\frac{1000}{5}} < Tap < \frac{1608}{\frac{1000}{5}}$$

$$4,84 < Tap < 8,04$$

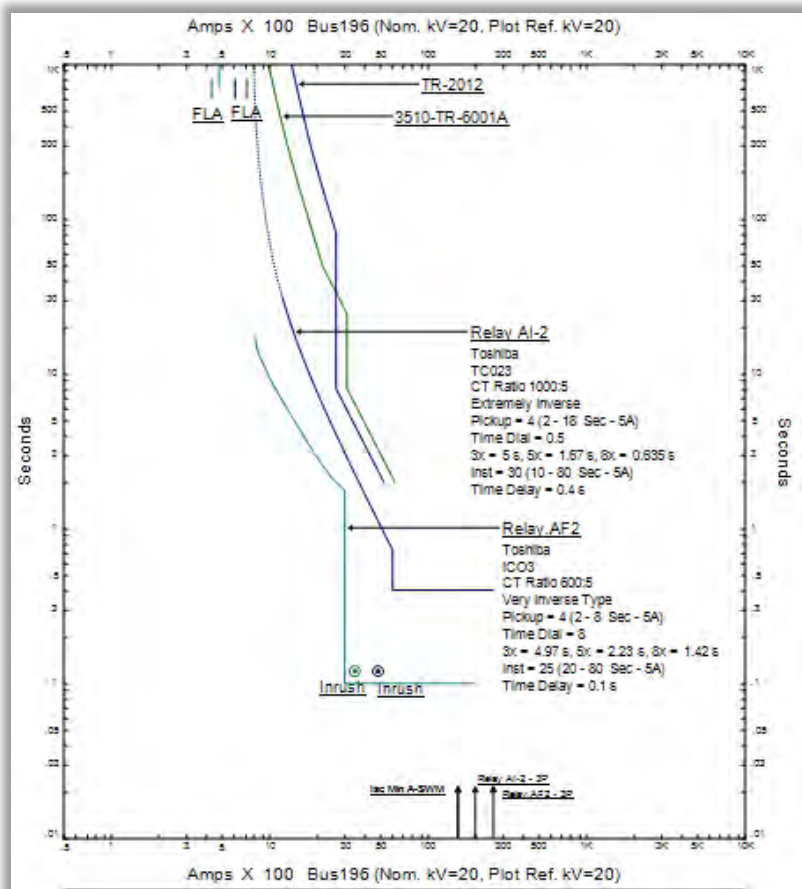
(range : 10 sampai 80 , dengan step 1 s)

Dipilih tap = 8

$$I_{set} = tap \times I_{\text{sekunder overcurrent}} = 8 \times \frac{1000}{5} = 1600 \text{ A}$$

### **Time Delay**

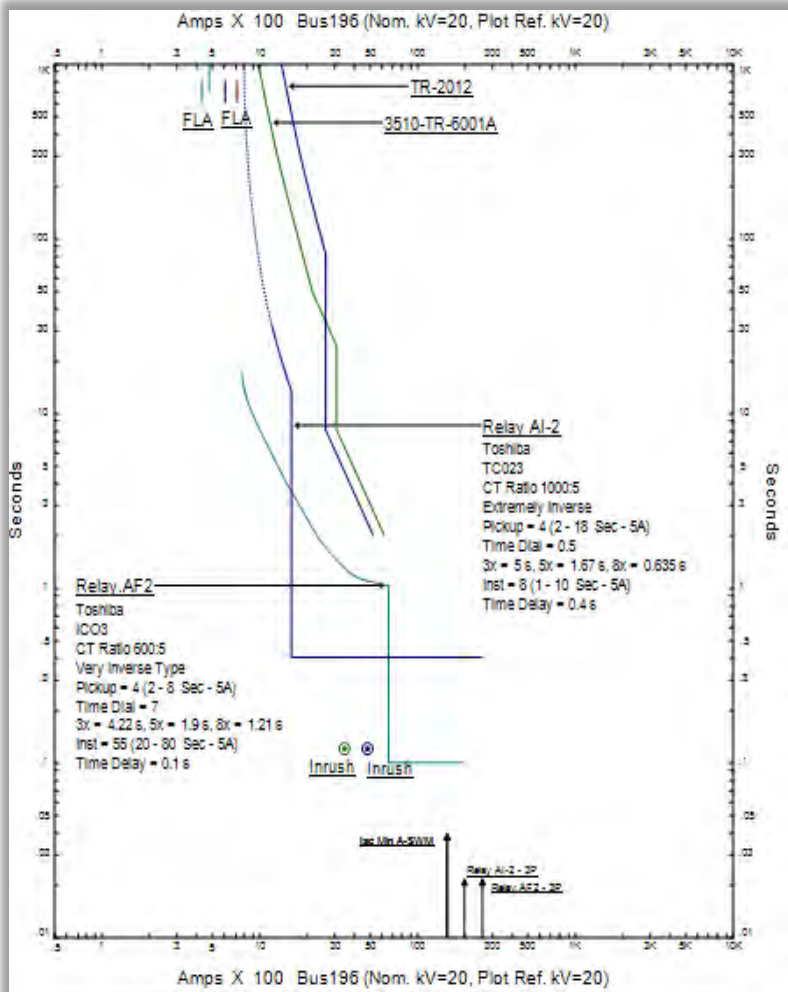
Waktu Operasi = 0,4 s



**Gambar 4.31** Kurva koordinasi eksisting tipikal 4B

Dari gambar 4.31 kurva koordinasi eksisting tipikal 4B dapat dilihat terdapat koordinasi proteksi yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan resetting pada rele. Berikut merupakan keterangannya :

- Pada Relay AI-2 terlihat bahwa kurva rele AI-2 dibawah FLA, sehingga rele tersebut tidak bisa melindungi peralatan karena rele tersebut akan bekerja saat beban penuh.



**Gambar 4.32** Kurva Resetting Tipikal 4B

Dari gambar 4.32 terlihat bahwa resetting rele arus lebih sudah cukup aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja dengan secepat mungkin

#### 4.4 Analisis Busur Api

Analisis bahaya busur api pada jaringan kelistrikan PT Tri Polyta dan PT Chandra Asri dibagi menjadi dua yaitu analisis kondisi eksisting dan analisis kondisi setelah resetting. Berikut ini adalah bus-bus yang dilakukan analisis busur api, yaitu:

- A. Bus OUTERING
- B. Bus ISBL
- C. Bus OSBL
- D. Bus TRAIN 3
- E. Bus BTF
- F. Bus A-SWM-2010
- G. Bus A-1
- H. Bus 102-3

##### 4.4.1 Simulasi Kondisi *Existing*

Dari simulasi ETAP 7.5 diperoleh hasil simulasi busur api kondisi eksisting yang terdapat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil simulasi busur api kondisi eksisting

No	ID BUS	Tegangan (kV)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	HRC Kondisi Eksisting
1	Bus OUTERING	20	190,540	>4
2	Bus ISBL	6	26,092	4
3	Bus OSBL	6	16,753	3
4	Bus TRAIN 3	6	25,354	4
5	Bus BTF	6	7,139	2
6	Bus A-SWM2010	20	2625,591	>4
7	Bus A-1	6	6,704	2
8	Bus 102-3	6	6,528	2

Dari tabel 4.4 terlihat terdapat beberapa bus dengan kategori arcflash melebihi batas yang diijinkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan apakah rele sudah terkoordinasi dengan baik, apabila belum terkoordinasi perlu dilakukan resetting agar terkoordinasi. Selain itu grading time rele perlu diperhatikan, dengan penekan grading time akan mengurangi besarnya nilai insiden energi.

#### 4.4.2 Simulasi Kondisi *Resetting*

Dari simulasi ETAP 7.5 diperoleh hasil simulasi busur api kondisi resetting yang terdapat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil simulasi busur api kondisi resetting

No	ID BUS	Tegangan (kV)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	HRC Kondisi Resetting
1	Bus OUTERING	20	155,761	>4
2	Bus ISBL	6	26,092	4
3	Bus OSBL	6	5,689	2
4	Bus TRAIN 3	6	23,059	3
5	Bus BTF	6	7,012	2
6	Bus A-SWM2010	20	212,436	>4
7	Bus A-1	6	23,466	3
8	Bus 102-3	6	16,319	3

Dari hasil simulasi busur api terlihat pada bus OSBL dan TRAIN 3 mengalami penurunan nilai insiden energi. Tetapi nilai insiden energi pada bus A-SWM-2010 dan bus OUTERING masih cukup tinggi, disarankan menggunakan rele differensial untuk menekan besarnya nilai insiden energi.

#### 4.4.3 Perhitungan Busur Api Setelah *Resetting*

Perhitungan manual busur api kondisi resetting dilakukan untuk membandingkan dengan hasil simulasi ETAP 7.5. Perhitungan dilakukan di bus yang dianalisis pada tipikal. Perhitungan *arcflash* menggunakan standar IEEE 1584-2002. Berikut ini hasil perhitungan bus yang dianalisis:

##### A. Bus OUTERING

##### Perhitungan Arus Arcing ( $I_A$ )

$$I_A = I_B = 31,79$$

##### Perhitungan Insiden Energi

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 \times \left( \frac{0,4}{910^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 657,835 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 157,15 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B (\frac{t}{E_B})]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 (\frac{0,4}{5})]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 10,437 \text{ m}$$

Nilai insiden energi Bus OUTERING termasuk dalam HRC kategori >4, untuk mengatasi masalah ini ditambahkan rele differensial. Berikut ini perhitungan insiden energi jika terdapat rele differensial dengan waktu operasi 0,1s :

### **Perhitungan Insiden Energi**

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B (\frac{t}{D^2})$$

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 \times (\frac{0,1}{910^2})$$

$$\text{Incident Energy} = 164,45 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 39,28 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B (\frac{t}{E_B})]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 (\frac{0,1}{5})]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 5,21 \text{ m}$$

## **B. Bus ISBL**

### **Perhitungan Arus Arcing (I<sub>A</sub>)**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(30,15)$$

$$\log(I_A) = 1,458, \quad I_A = 28,718 \text{ kA}$$

### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia)+0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,458+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 15,47 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n (\frac{t}{0,2}) (\frac{610^x}{D^x})$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 15,47 (\frac{0,5}{0,2}) (\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}})$$

$$\text{Incident Energy} = 109,64 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 26,19 \text{ cal/cm}^2$$



### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 \text{ Cf En } (\frac{t}{0,2}) (\frac{610^x}{E_B})]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 15,47 (\frac{0,5}{0,2}) (\frac{610^{0,973}}{5})]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 15,47 \times 2,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 21,74 \text{ m}$$

### **C. Bus OSBL**

#### **Perhitungan Arus Arcing (I<sub>A</sub>)**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(28,44)$$

$$\log(I_A) = 1,433, \quad I_A = 27,1 \text{ kA}$$

#### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,433+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 14,53 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \text{ Cf En } (\frac{t}{0,2}) (\frac{610^x}{D^x})$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 14,53 (\frac{0,116}{0,2}) (\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}})$$

$$\text{Incident Energy} = 23,89 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 5,70 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 \text{ Cf En } (\frac{t}{0,2}) (\frac{610^x}{E_B})]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 14,53 (\frac{0,116}{0,2}) (\frac{610^{0,973}}{5})]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 14,53 \times 0,58 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4,5 \text{ m}$$

### **D. Bus TRAIN 3**

#### **Perhitungan Arus Arcing (I<sub>A</sub>)**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(29,34)$$

$$\log(I_A) = 1,446, \quad I_A = 27,9 \text{ kA}$$

#### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,446+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 15,01 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 15,01 \left(\frac{0,455}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 96,81 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 23,12 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B^x}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 15,01 \left(\frac{0,455}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 15,01 \times 2,275 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 19,1 \text{ m}$$

## **E. Bus BTF**

### **Perhitungan Arus Arcing (I<sub>A</sub>)**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(28,55)$$

$$\log(I_A) = 1,434, \quad I_A = 27,16 \text{ kA}$$

### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_A) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,434 + 0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 14,56 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 14,56 \left(\frac{0,142}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 29,308 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 7,001 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B^x}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 14,56 \left(\frac{0,142}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 14,56 \times 0,71 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5,6 \text{ m}$$

#### **F. Bus A-SWM-2010**

##### **Perhitungan Arus Arcing ( $I_A$ )**

$$I_A = I_B = 34,68$$

##### **Perhitungan Insiden Energi**

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \times \left( \frac{0,5}{910^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 897,048 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 214 \text{ cal/cm}^2$$

##### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left( \frac{t}{E_B} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \left( \frac{0,5}{5} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 12,18 \text{ m}$$

Nilai insiden energi BUS A-SWM-2010 termasuk dalam HRC kategori >4, untuk mengatasi masalah ini dapat ditambahkan rele differensial. Berikut ini perhitungan insiden energi jika terdapat rele differensial dengan waktu operasi 0,1s :

##### **Perhitungan Insiden Energi**

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \times \left( \frac{0,1}{910^2} \right)$$

$$\text{Incident Energy} = 179,409 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 42,86 \text{ cal/cm}^2$$

##### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left( \frac{t}{E_B} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \left( \frac{0,1}{5} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 5,45 \text{ m}$$

#### **G. Bus A-1**

##### **Perhitungan Arus Arcing ( $I_A$ )**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(19,88)$$

$$\log(I_A) = 1,28, \quad I_A = 19,07 \text{ Ka}$$

### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081\log(Ia)+0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,28+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 9,93 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 9,93 \left(\frac{0,7}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 98,53 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 23,53 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 9,93 \left(\frac{0,7}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 9,93 \times 3,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 19,4 \text{ m}$$

## **H. Bus 102-3**

### **Perhitungan Arus Arcing (I<sub>A</sub>)**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(19,38)$$

$$\log(I_A) = 1,27, \quad I_A = 18,6 \text{ kA}$$

### **Perhitungan Insiden Energi**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081\log(Ia)+0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,433+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 9,68 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 9,68 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 68,6 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 16,39 \text{ cal/cm}^2$$

### **Perhitungan Flash Protection Boundary**

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 9,68 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 9,68 \times 2,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}} = 13,4 \text{ m}$$

Setelah didapatkan nilai insiden energi dari perhitungan manual, selanjutnya dapat ditentukan kategori *level hazard risk*, sehingga diperoleh *personal protective equipment* yang sesuai dengan standar NFPA 70E.

Perbandingan hasil reseting simulasi dan perhitungan manual dapat dilihat pada tabel 4.6, sedangkan peralatan *personal protective equipment* sesuai standar NFPA 70 E untuk bus tipikal dapat dilihat pada tabel 4.7

**Tabel 4.6** Perbandingan nilai insiden energi

No	ID BUS	Simulasi (cal/cm <sup>2</sup> )	HRC Simulasi	Perhitungan Manual (cal/cm <sup>2</sup> )	HRC Perhitungan Manual
1	Bus OUTERING	155,761	>4	157,15	>4
2	Bus ISBL	26,092	4	26,19	4
3	Bus OSBL	5,689	2	5,70	2
4	Bus TRAIN 3	23,059	3	23,12	3
5	Bus BTF	7,012	2	7,001	2
6	Bus A-SWM2010	212,436	>4	214	>4
7	Bus A-1	23,466	3	23,53	3
8	Bus 102-3	16,319	3	16,39	3

Dari tabel 4.6 terlihat terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan perhitungan manual yaitu:

- Bus OUTERING sebesar 1,389 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus ISBL sebesar 0,098 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus OSBL sebesar 0,011 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus TRAIN 3 sebesar 0,061 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus BTF sebesar 0,011 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus A-SWM2010 sebesar 1,564 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus A-1 sebesar 0,064 cal/cm<sup>2</sup>
- Bus 102-3 sebesar 0,071 cal/cm<sup>2</sup>

**Tabel 4.7** Peralatan PPE sesuai standar NFPA 70E

No	ID BUS	HRC	PPE
1	Bus OUTERING	>4	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, Multilayer Flash Suit, Hood</i>
2	Bus ISBL	4	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, Multilayer Flash Suit, Hood</i>

No	ID BUS	HRC	PPE
3	Bus OSBL	2	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, Hood</i>
4	Bus TRAIN 3	3	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, FR Coveral, Hood</i>
5	Bus BTF	2	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, Hood</i>
6	Bus A-SWM2010	>4	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, Multilayer Flash Suit, Hood</i>
7	Bus A-1	3	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, FR Coveral, Hood</i>
8	Bus 102-3	3	<i>Cotton Underwear, FR Shirt &amp; Pants, FR Coveral, Hood</i>

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Dari hasil simulasi dengan *software* ETAP 7.5 dapat diketahui bahwa nilai insiden energi kondisi *existing* pada bus OSBL, bus A-1, dan bus 102-3 memang kecil namun pengamannya tidak sesuai standar koordinasi pengaman
2. Terdapat beberapa setting *time delay* rele kondisi eksisting yang belum sesuai dengan standar grading time IEEE 242 yaitu 0.2 s-0.4 s
3. Setelah dilakukan reseting terjadi penurunan sebesar 66% pada bus OSBL ( $11,064 \text{ cal/cm}^2$ ) sehingga terjadi penurunan kategori *arcflash* dari kategori 3 ke kategori 2
4. Setelah dilakukan reseting terjadi penurunan sebesar 9,05% pada bus TRAIN 3 ( $2,295 \text{ cal/cm}^2$ ) sehingga terjadi penurunan kategori *arcflash* dari kategori 4 ke kategori 3
5. Besarnya nilai insiden energi dipengaruhi oleh *time delay* rele, karena semakin kecil nilai time delay maka nilai insiden energi yang terjadi semakin kecil

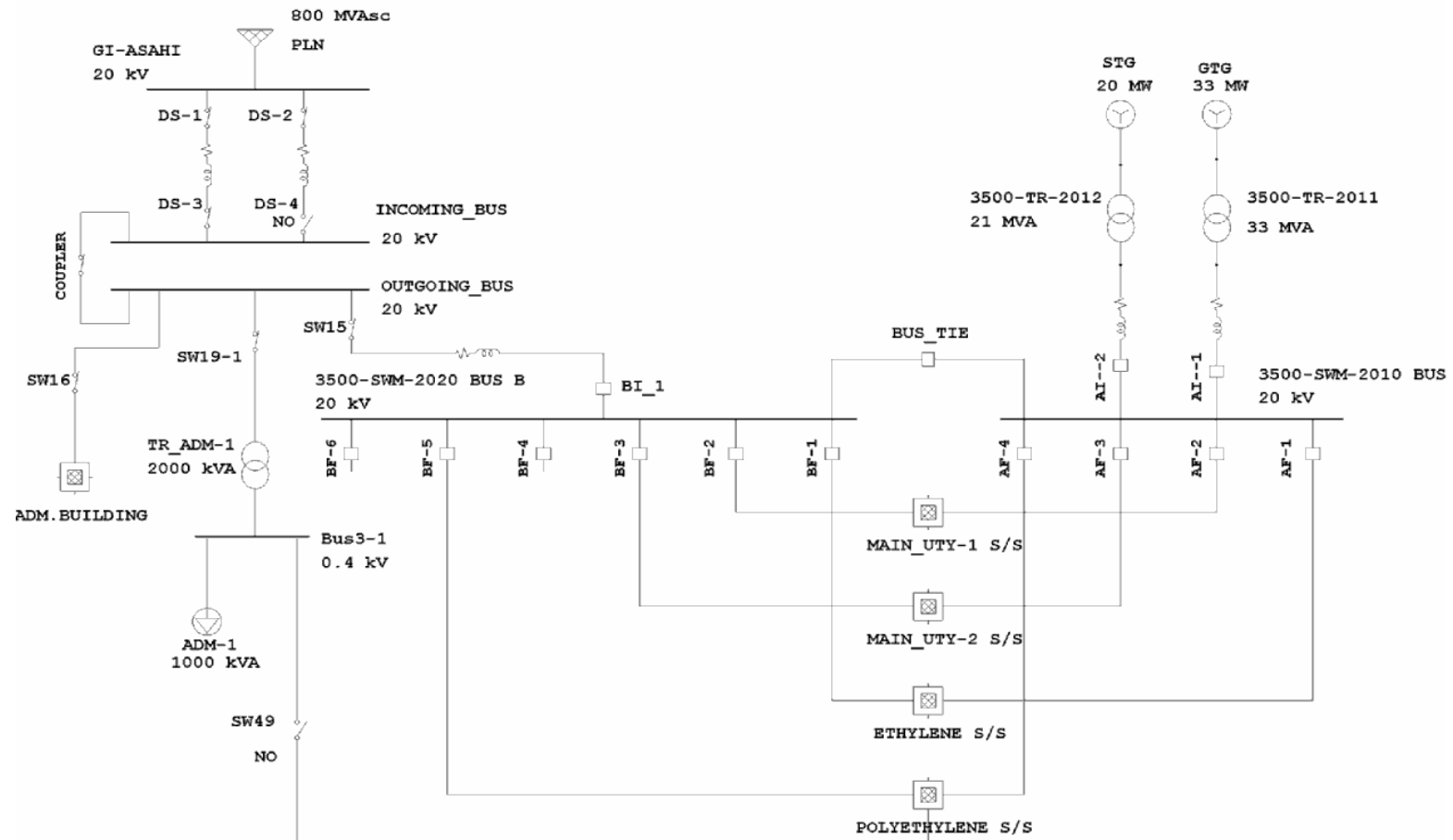
#### **5.2 Saran**

1. Untuk mengurangi besarnya nilai insiden energi di bus A-SWM-2010 dan bus OUTERING yang dekat dengan wilayah pembangkit, sebaiknya digunakan rele differensial
2. Rele analog sebaiknya diganti dengan rele digital
3. Setting koordinasi proteksi rele pengaman yang didapatkan dari perhitungan dan hasil simulasi dapat direkomendasikan dan dijadikan pertimbangan untuk PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta

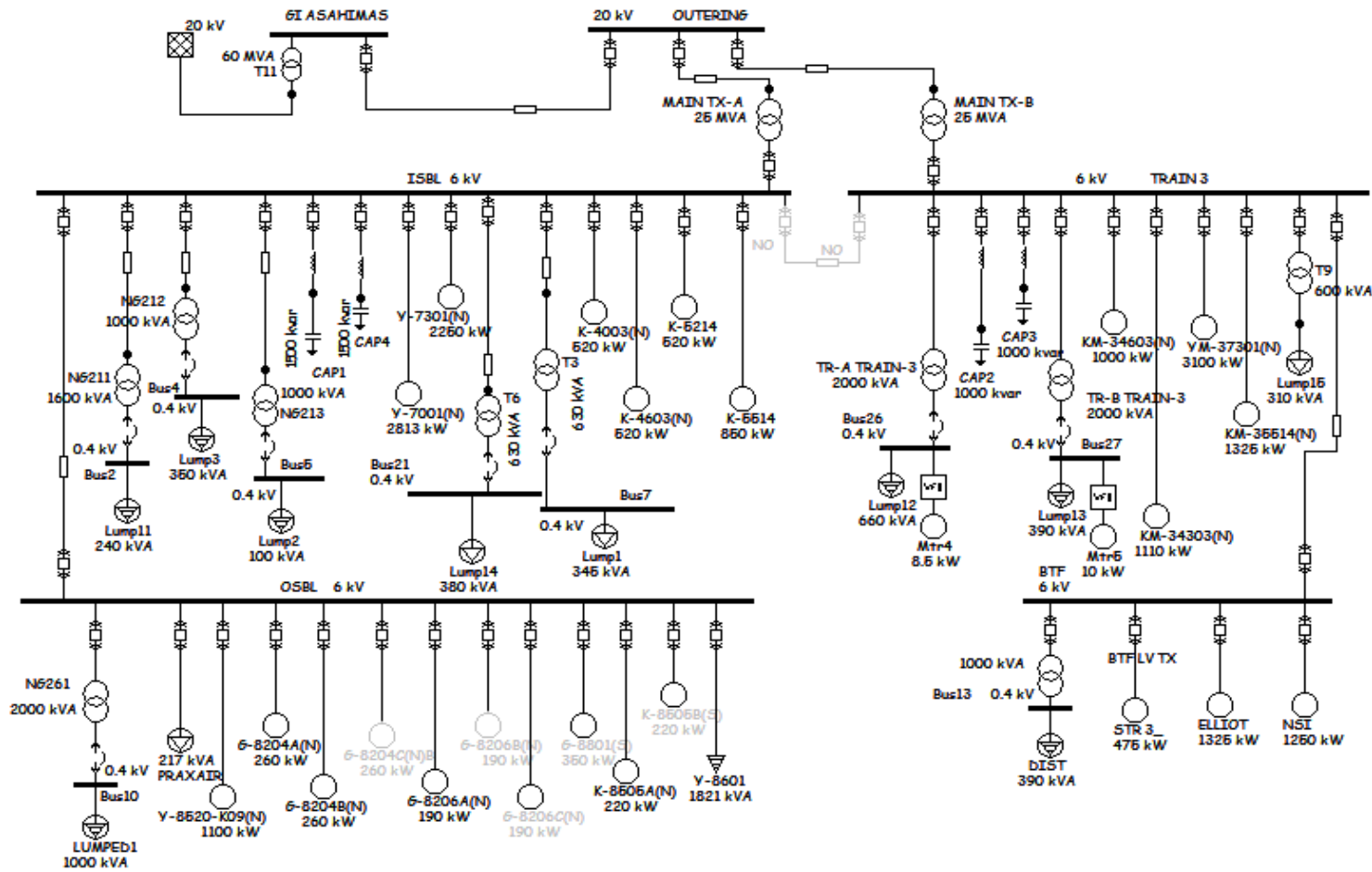
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



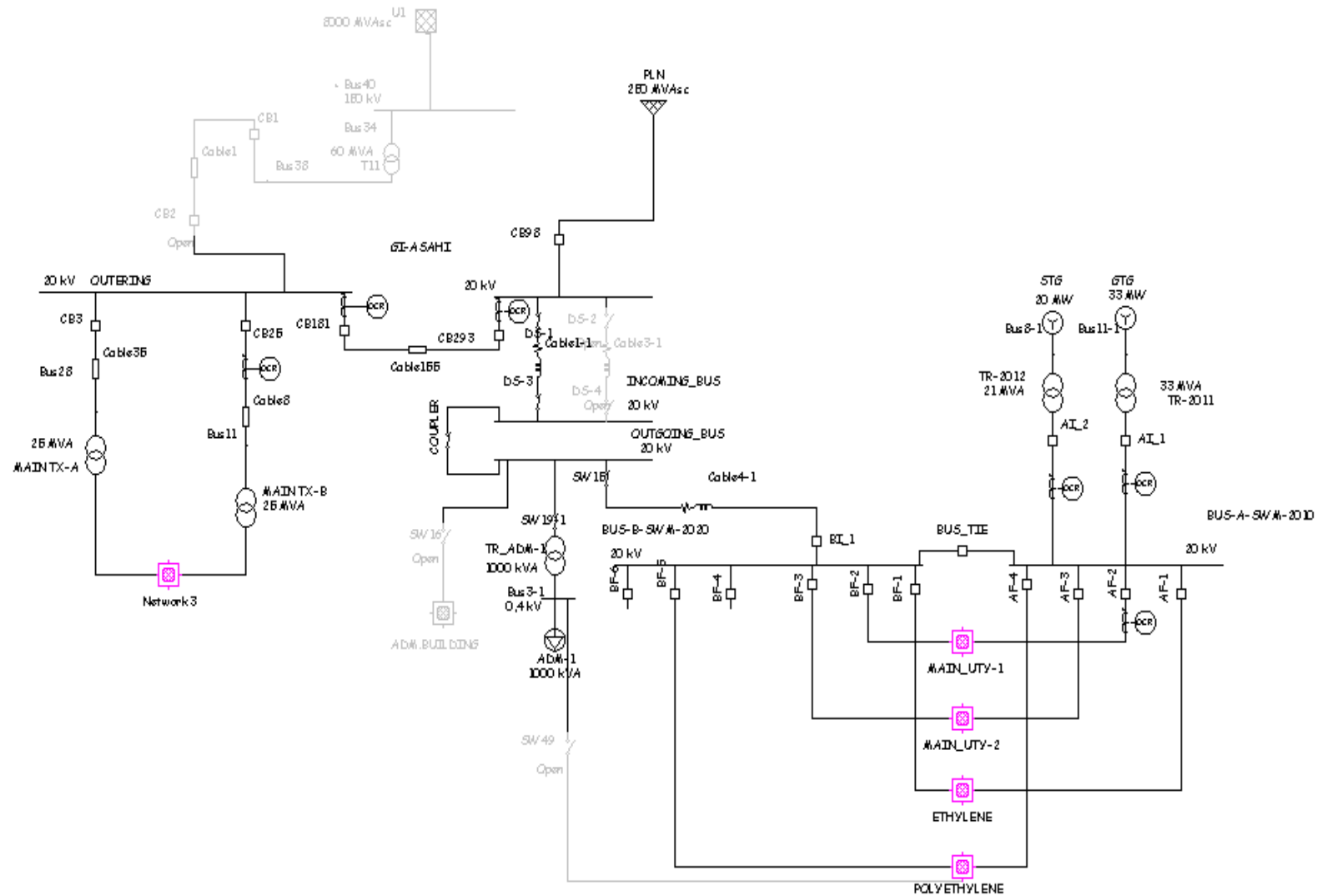
### SINGLE LINE DIAGRAM PT CHANDRA ASRI SEBELUM INTEGRASI



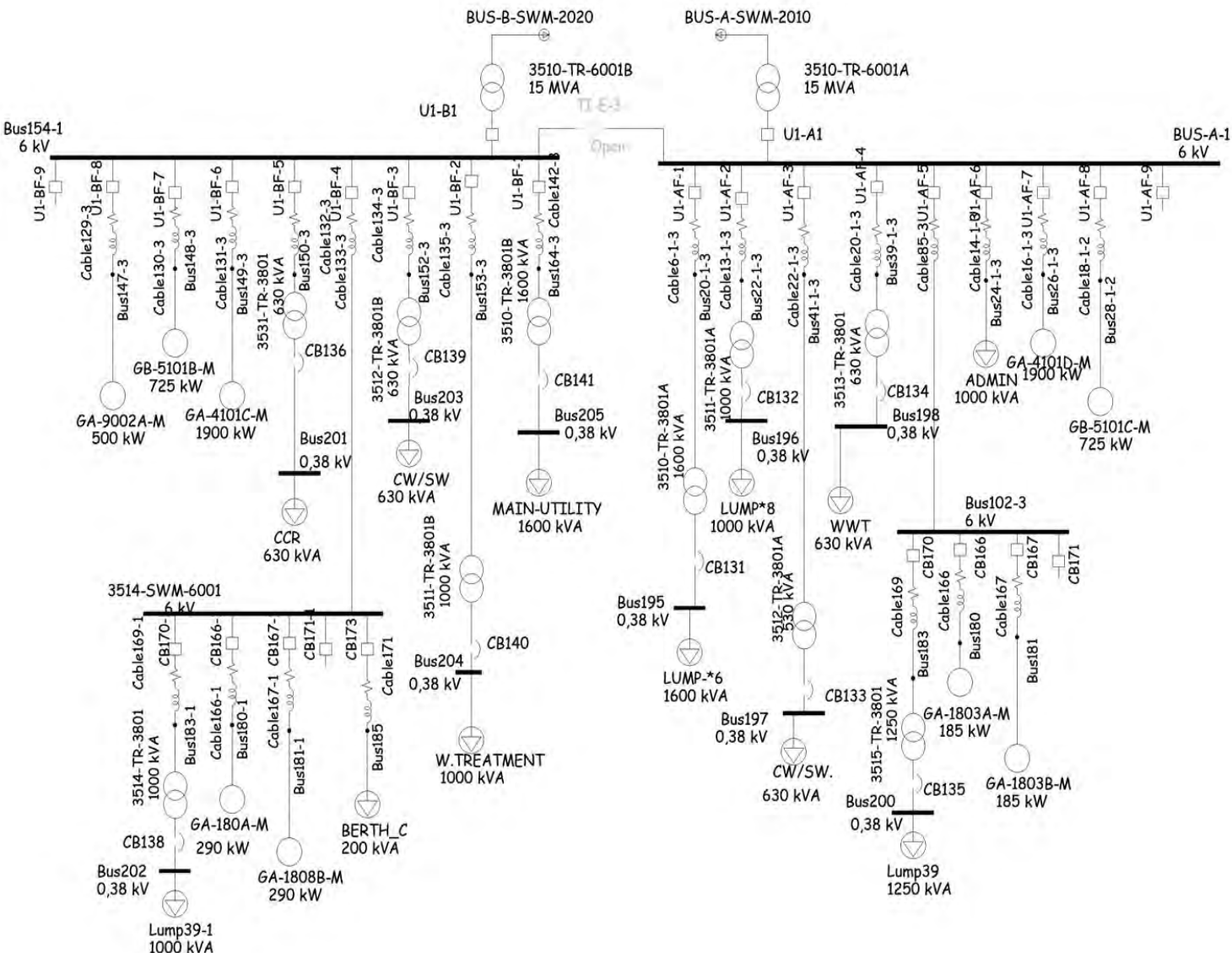
# SINGLE LINE DIAGRAM PT. TRI POLYTA SEBELUM INTEGRASI



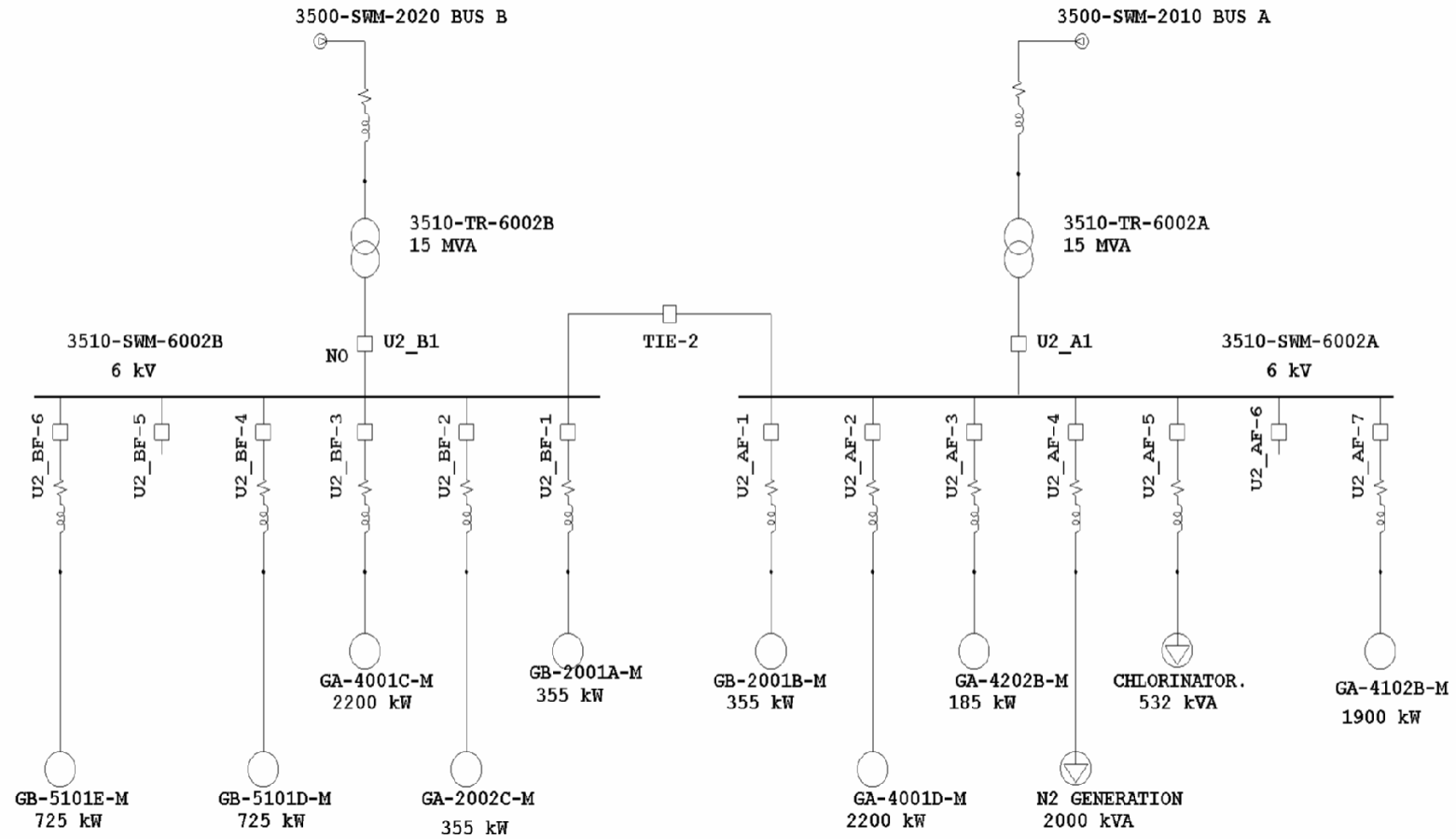
# SINGLE LINE DIAGRAM PT. CHANDRA ASRI INTEGRASI DENGAN PT. TRI POLYTA



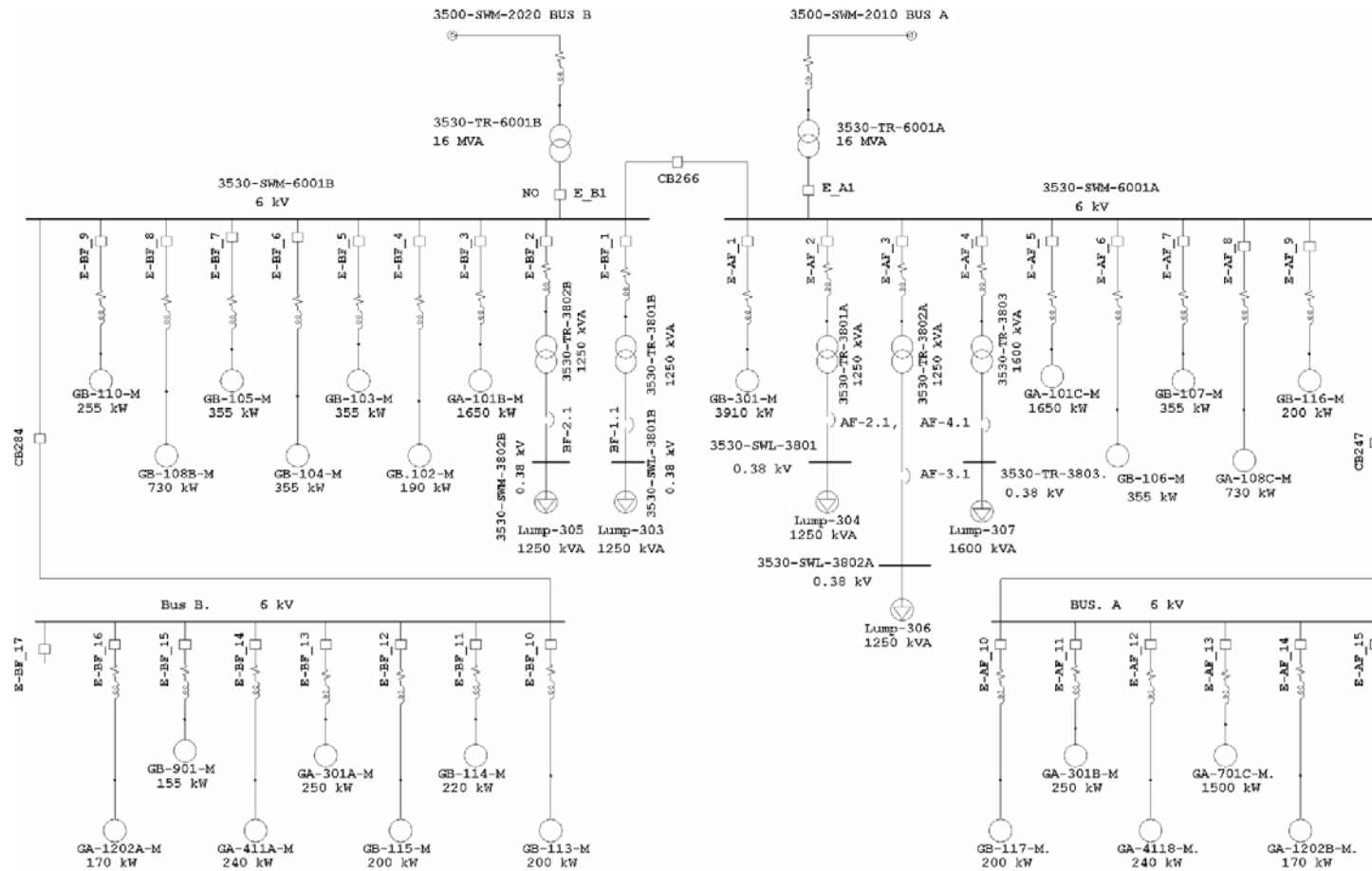
BUS-B-SWM-2020 BUS-A-SWM-2010



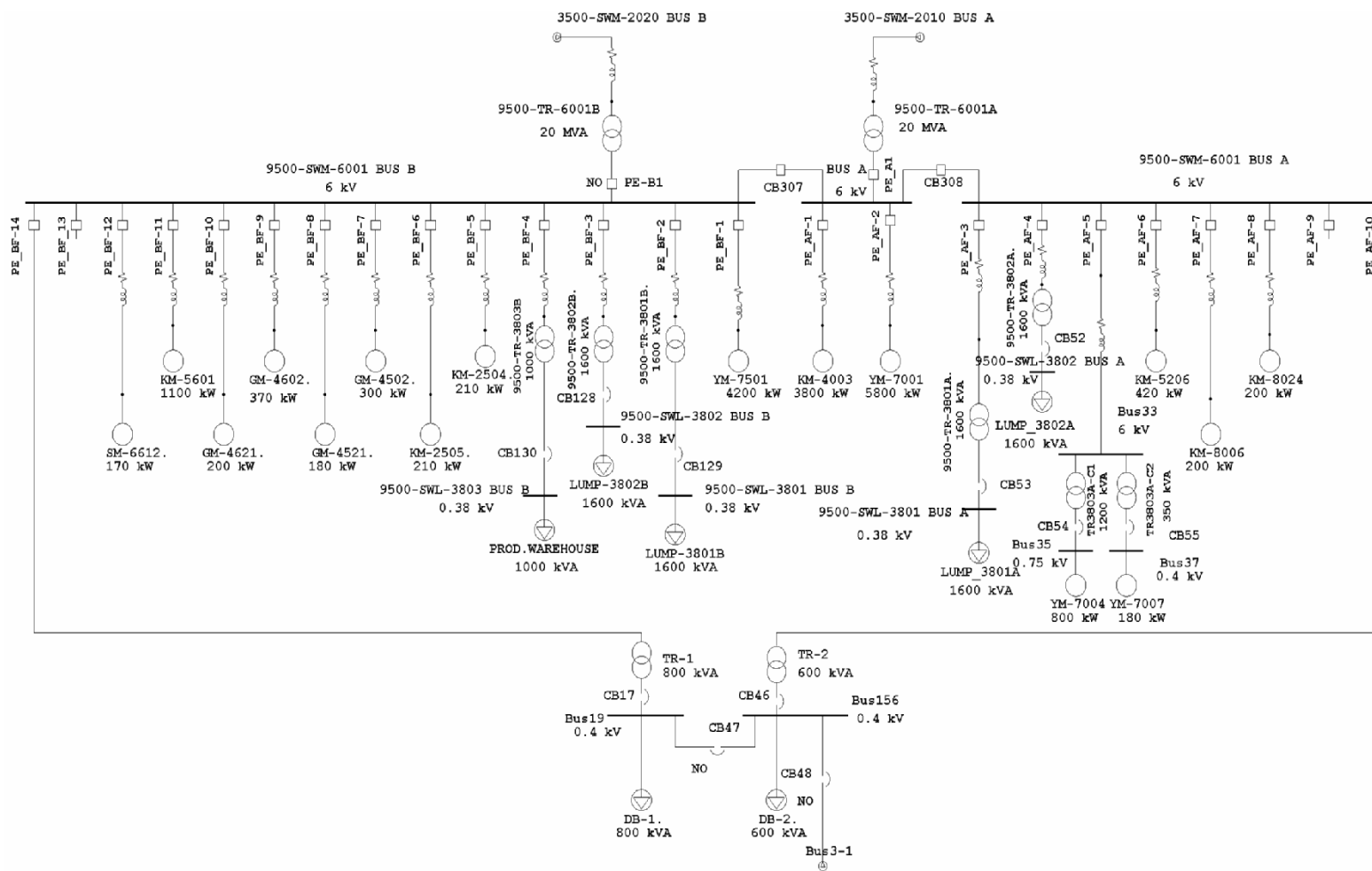
# SINGLE LINE DIAGRAM MAIN UTILITY 2 PT. CHANDRA ASRI



## SINGLE LINE DIAGRAM ETHYLENE PT. CHANDRA ASRI



## SINGLE LINE DIAGRAM POLYETHYLENE PT. CHANDRA ASRI



## DAFTAR PUSTAKA

1. Hewitson, Les, Mark Brown, Ben Ramesh, "*Practical Power Systems Protection*", Netherland, 2004
2. Saadat, Hadi, "*Power System Analysis*", Kevin Kane, United States of America, 1976.
3. IEEE std 551-2006, "*Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*" Institute of Electrical Engineers Inc., 2006
4. Wahyudi, "*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2004
5. Anderson, P.M, "*Power System Protection*", John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1998
6. Gers, Juan M., 1928, "*Protection of electricity distribution networks – 2<sup>nd</sup> edn*", London, The Institution of Engineering and Technology.
7. Prévê, Christophe, "*Protection of Electrical Networks*", ISTE Ltd., London, 2006
8. IEEE Std 242-2001™, "*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
9. Davis P.E, Chet, Conrad St. Pierre, Dave Castor, P.E., Robert Luo, Satish Shrestha, "*Practical Solution Guide to Arc Flash Hazards*", ESA, Inc., Oregon, 2003
10. IEEE Std. 1584-2002, "*IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculation*". Institute of Electrical Engineers Inc., 2002
11. Ontoseno, P., "*Hand Out Arc Flash Standards*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2010.



## **BIODATA PENULIS**



Nama lengkap penulis adalah Elfrida Maharani. Lahir di Jakarta pada tanggal 17 Januari 1992. Penulis telah menyelesaikan studinya dari TK BPI Bandung dan melanjutkannya ke SD BPI Bandung sampai dengan kelas 2 SD dikarenakan mengikuti kepindahan tugas orangtuanya, penulis melanjutkan kelas 3 SD di SD Harapan I Medan sampai ia lulus SD. Penulis kemudian meneruskan pendidikan SMP di SMP 19 Jakarta. Setelah Lulus dari SMA Labschool Kebayoran penulis meneruskan pendidikannya di Institut teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan teknik elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga.